



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISIS PERBANDINGAN PENGARUH STOPPER MODEL BAUT
DENGAN KONVENSIONAL TERHADAP TEGANGAN SISA DAN
DEFORMASI MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Anggit Akbar Anggoro
NRP 4113100023**

**Dosen Pembimbing
M. Nurul Misbah, S.T., M.T.
Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISIS PERBANDINGAN PENGARUH STOPPER MODEL BAUT
DENGAN KONVENSIONAL TERHADAP TEGANGAN SISA DAN
DEFORMASI MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Anggit Akbar Anggoro
NRP 4113100023**

**Dosen Pembimbing
M. Nurul Misbah, S.T., M.T.
Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT - MN 141581

**COMPARATIVE ANALYSIS OF CONVENTIONAL AND BOLD
STOPPER EFFECT TO RESIDUAL STRESS AND DEFORMATION
USING FINITE ELEMENT METHODE**

**Anggit Akbar Anggoro
NRP 4113100023**

**Supervisors
M. Nurul Misbah, S.T., M.T.
Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERBANDINGAN PENGARUH STOPPER MODEL BAUT DENGAN KONVENSIIONAL TERHADAP TEGANGAN SISA DAN DEFORMASI MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh:


ANGGIT AKBAR ANGGORO
NRP 4113100023

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:


Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing I


Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.
NIP 19700615 199512 1 001


M. Nurul Misbah, S.T., M.T.
NIP 19730404 199702 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan


Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, JANUARI 2018

LEMBAR REVISI

ANALISIS PERBANDINGAN PENGARUH STOPPER MODEL BAUT DENGAN KONVENSIONAL TERHADAP TEGANGAN SISA DAN DEFORMASI MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 10 Januari 2018

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ANGGIT AKBAR ANGGORO
NRP 4113100023

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Totok Yulianto, S.T., M.T.
2. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.
3. M. Sholikhhan Arif, S.T., M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. M. Nurul Misbah, S.T., M.T.
2. Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M. Eng.



SURABAYA, JANUARI 2018

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Allah SWT. sehingga berkat ridho-Nya pengerjaan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan;
2. Kedua Orang Tua yang selalu memberikan doa dan dukungan selama Penulis menempuh pendidikan di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
3. Bapak M. Nurul Misbah, S.T., M.T. dan Bapak Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M. Eng. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
4. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T., Bapak Dony Setyawan, S.T., M. Eng. Serta Bapak M. Sholokhan Arif, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
5. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
6. Bapak Dedi Purwanto, S.T., M.T. selaku Dosen Wali selama menempuh pendidikan di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
7. *Lloyd's Register Surabaya*, PT. Dok Pantai Lamongan dan PT. PAL Indonesia yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan kerja praktik, sehingga muncul ide dalam pembuatan Tugas Akhir ini;
8. Keluarga Besar Institut Teknologi Sepuluh Nopember atas jasa-jasa yang diberikan.
9. Keluarga Besar As-Safiinah, Al-Bahri, JMMI, Kos Quran, SDM IPTEK dan Derslane Surabaya yang telah banyak membantu Penulis selama di Surabaya.
10. M. Ansori Hasibuan, S.T. dan Rafid Buana Putra, S.T. yang telah banyak membantu dan memberikan masukan dalam pengerjaan Tugas Akhir.
11. Teman-teman angkatan 2013 SUBMARINE-P53 serta berbagai pihak yang telah banyak membantu Penulis selama ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 19 Januari 2018

Anggit Akbar Anggoro

ANALISIS PERBANDINGAN PENGARUH *STOPPER* MODEL BAUT DENGAN KONVENSIONAL TERHADAP TEGANGAN SISA DAN DEFORMASI MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa : Anggit Akbar Anggoro
NRP : 4113100023
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. M. Nurul Misbah, S.T., M.T.
2. Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Stopper digunakan untuk mempertahankan posisi pengelasan selama proses pengelasan. Penggunaan *stopper* dapat mengurangi deformasi pada material. Sebaliknya, penggunaan *stopper* yang berlebihan dapat menyebabkan tegangan sisa yang besar, sehingga mengakibatkan kemampuan material dalam menerima beban menjadi berkurang dan bisa berdampak pada retaknya material.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbedaan *stopper* model baut dengan *stopper* model konvensional dari segi deformasi dan tegangan sisa yang terjadi pada pelat datar. *Stopper* dimodelkan dengan *software* elemen hingga dengan variasi jarak *stopper* (200 mm, 300 mm dan 400 mm), tebal *stopper* (12 mm, 14 mm dan 16 mm) serta ukuran baut (M 20, M 24 dan M 27).

Dari hasil pemodelan dan analisis, *stopper* model baut memiliki nilai deformasi maksimum sebesar 0.4472 mm dan *stopper* konvensional memiliki nilai deformasi maksimum sebesar 0.4016 mm. Nilai deformasi pelat datar akibat *stopper* model baut lebih besar dibandingkan dengan nilai deformasi pelat datar akibat *stopper* konvensional. Pada *stopper* model baut, nilai tegangan sisa maksimum sebesar 81.218 MPa dan pada *stopper* konvensional, nilai tegangan sisa maksimum sebesar 79.642 MPa. Tegangan sisa banyak tersebar pada variasi jarak pemasangan *stopper* 200 mm dikarenakan pengeangan *stopper* yang berlebihan akan memicu timbulnya tegangan sisa yang besar. Penggunaan *stopper* konvensional memberikan pengaruh yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan *stopper* model baut dari sisi deformasi dan tegangan sisa.

Kata kunci: deformasi, metode elemen hingga, *stopper*, tegangan sisa.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CONVENTIONAL AND BOLD STOPPER EFFECT TO RESIDUAL STRESS AND DEFORMATION USING FINITE ELEMENT METHODE

Author : Anggit Akbar Anggoro
Student Number : 4113100023
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisors : 1. M. Nurul Misbah, S.T., M.T.
2. Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.

ABSTRACT

The stopper is used to maintain the welding position during the welding process. The use of a stopper can reduce the deformation of the material. Otherwise, excessive use of the stopper can cause large residual stress, so it may result in reduced the material's ability to accept the load and may impact on cracking of materials.

This project aims to determine the effect of conventional stopper and bolt stopper differences, in terms of deformation and residual stresses that occurred in the material. The stopper is modeled with the finite element method software by varying the stopper distance (200 mm, 300 mm and 400 mm), the stopper thickness (12 mm, 14 mm and 16 mm) and the stopper bolt size (M 20, M 24 and M 27).

From the modeling and analysis results, the bolt stopper has a maximum deformation value of 0.4472 mm and the conventional stopper has a maximum deformation value of 0.4016 mm. The deformation value due to the bolt stopper model is greater than the deformation value due to the conventional stopper. In the bolt stopper, the maximum residual stress value is 81.218 MPa and in the conventional stopper, the maximum residual stress value is 79.642 MPa. The residual stress is widely distributed on a 200 mm installation range variation due to excessive stopper installation will result a large residual stresses. The use of conventional stopper gives better effect than bolt stopper, in terms of deformation and residual stress value.

Keywords: deformation, finite element method, residual stress, stopper.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah.....	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.3. Tujuan	2
I.4. Batasan Masalah	2
I.5. Manfaat	3
I.6. Hipotesis	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
II.1. Landasan Teori.....	5
II.1.1. Pengelasan.....	5
II.1.2. Siklus <i>Thermal</i> Daerah Lasan	7
II.1.3. Masukan Panas (<i>Heat Input</i>).....	7
II.1.4. Tegangan Sisa	8
II.1.5. Deformasi	10
II.1.6. <i>Stopper</i>	13
II.1.7. Metode Elemen Hingga.....	14
II.2. Tinjauan Pustaka	15
II.2.1. Pengaruh Jarak Tanggem Pada Sambungan <i>Butt Joint</i>	15
II.2.2. Pengaruh Pada Pengelasan Pipa Beda Jenis.....	16
II.2.3. Pengaruh Variasi Tanggem Pada Pipa Pengelasan SMAW dan FCAW	16
II.2.4. Pengaruh Pada Sambungan <i>Butt Weld</i> Pelat Datar	17
II.2.5. Pengaruh Ukuran <i>Stopper</i> Pada Sambungan Pelat Kapal	17
BAB III METODOLOGI	19
III.1. Bagan Alir	19
III.2. Metode	20
III.2.1. Pengumpulan Data	20
III.2.2. Pembuatan Model.....	20
III.2.3. Analisis Data	20
III.3. Proses Pengerjaan	21
III.3.1. Pemodelan	21
III.3.2. <i>Transient Thermal</i>	23
III.3.3. <i>Static Structural</i>	24
III.3.4. Analisis Hasil	26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
IV.1. Data Hasil Pengukuran	27
IV.1.1. Variabel Pembebanan <i>Thermal</i>	27
IV.1.2. Perhitungan Beban	28
IV.1.3. Uji Konvergensi	29
IV.2. Pembahasan.....	31
IV.2.1. Koreksi Deformasi dan Variasi Tanpa Stopper	31
IV.2.2. Variasi Ukuran Baut Pada <i>Stopper</i> Model Baut	33
IV.2.3. Variasi Tebal Pada <i>Stopper</i> Model Baut	42
IV.2.4. Variasi Jarak Pada <i>Stopper</i> Model Baut.....	51
IV.2.5. Variasi Tebal Pada <i>Stopper</i> Konvensional.....	60
IV.2.6. Variasi Jarak Pada <i>Stopper</i> Konvensional	63
IV.2.7. Perbandingan Hasil Analisis	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	67
V.1. Kesimpulan	67
V.2. Saran	68
DAFTAR PUSTAKA.....	69
LAMPIRAN	70
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Macam-Macam Las	6
Gambar II.2	Macam-Macam Posisi Pengelasan	6
Gambar II.3	Skema Distribusi Tegangan Sisa dalam Sambungan Las Tumpul	9
Gambar II.4	Skema Distribusi Tegangan Sisa Pada Las Berbentuk Lingkaran	10
Gambar II.5	Macam-Macam Bentuk Deformasi Las.....	12
Gambar II.6	Metode Pengaturan Penyimpangan	13
Gambar II.7	<i>Stopper</i> Model Baut.....	14
Gambar III.1	Bagan Alir	19
Gambar III.2	Bagan Alir Pemodelan.....	21
Gambar III.3	<i>Engineering Data</i>	21
Gambar III.4	Geometri Model.....	22
Gambar III.5	<i>Meshing</i> Model.....	22
Gambar III.6	Bagan Alir <i>Transient Thermal</i>	23
Gambar III.7	<i>Outline Transient Thermal</i>	24
Gambar III.8	Bagan Alir <i>Static Structural</i>	24
Gambar III.9	<i>Outline Static Structural</i>	25
Gambar III.10	Bagan Alir Analisis Hasil.....	26
Gambar IV.1	Deformasi <i>Stopper</i> Model Baut dari Arah Sumbu X	31
Gambar IV.2	Deformasi <i>Stopper</i> Konvensional dari Arah Sumbu X	31
Gambar IV.3	Deformasi Pada Variasi Model Tanpa <i>Stopper</i>	32
Gambar IV.4	Deformasi dari Arah Sumbu X (Tanpa <i>Stopper</i>).....	32
Gambar IV.5	Grafik Deformasi (Tanpa <i>Stopper</i>).....	32
Gambar IV.6	Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 20	33
Gambar IV.7	Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 20.....	33
Gambar IV.8	Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 27	34
Gambar IV.9	Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27	34
Gambar IV.10	Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 24	35
Gambar IV.11	Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 24.....	35
Gambar IV.12	Deformasi Jarak 300 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 24	36
Gambar IV.13	Tegangan Sisa Jarak 300 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M24.....	36
Gambar IV.14	Deformasi Jarak 300 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20	37
Gambar IV.15	Tegangan Sisa Jarak 300 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20.....	37
Gambar IV.16	Deformasi Jarak 300 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 27	38
Gambar IV.17	Tegangan Sisa Jarak 300 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 27.....	38
Gambar IV.18	Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27	39
Gambar IV.19	Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27	39
Gambar IV.20	Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24	40
Gambar IV.21	Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24.....	40
Gambar IV.22	Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 20	41
Gambar IV.23	Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 20.....	41
Gambar IV.24	Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20	42
Gambar IV.25	Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20.....	42
Gambar IV.26	Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24	43
Gambar IV.27	Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24.....	43
Gambar IV.28	Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27	44

Gambar IV.29	Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27	44
Gambar IV.30	Deformasi Jarak 300 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 20	45
Gambar IV.31	Tegangan Sisa Jarak 300 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 20	45
Gambar IV.32	Deformasi Jarak 300 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24	46
Gambar IV.33	Tegangan Sisa Jarak 300 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24	46
Gambar IV.34	Deformasi Jarak 300 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27	47
Gambar IV.35	Tegangan Sisa Jarak 300 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27	47
Gambar IV.36	Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20	48
Gambar IV.37	Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20	48
Gambar IV.38	Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 24	49
Gambar IV.39	Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20	49
Gambar IV.40	Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 27	50
Gambar IV.41	Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 27	50
Gambar IV.42	Deformasi Jarak 300 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 20	51
Gambar IV.43	Tegangan Sisa Jarak 300 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 20	51
Gambar IV.44	Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20	52
Gambar IV.45	Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20	52
Gambar IV.46	Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 20	53
Gambar IV.47	Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 20	53
Gambar IV.48	Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 24	54
Gambar IV.49	Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 24	54
Gambar IV.50	Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24	55
Gambar IV.51	Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24	55
Gambar IV.52	Deformasi Jarak 300 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 24	56
Gambar IV.53	Tegangan Sisa Jarak 300 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 24	56
Gambar IV.54	Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27	57
Gambar IV.55	Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27	57
Gambar IV.56	Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 27	58
Gambar IV.57	Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 27	58
Gambar IV.58	Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 27	59
Gambar IV.59	Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 27	59
Gambar IV.60	Deformasi Jarak 200 mm dan Tebal 12 mm	60
Gambar IV.61	Tegangan Sisa Jarak 200 mm dan Tebal 12 mm	60
Gambar IV.62	Deformasi Jarak 300 mm dan Tebal 14 mm	61
Gambar IV.63	Tegangan Sisa Jarak 300 mm dan Tebal 14 mm	61
Gambar IV.64	Deformasi Jarak 400 mm dan Tebal 16 mm	62
Gambar IV.65	Tegangan Sisa Jarak 400 mm dan Tebal 16 mm	62
Gambar IV.66	Deformasi Jarak 300 mm dan Tebal 12 mm	63
Gambar IV.67	Tegangan Sisa Jarak 300 mm dan Tebal 12 mm	63
Gambar IV.68	Deformasi Jarak 400 mm dan Tebal 14 mm	64
Gambar IV.69	Tegangan Sisa Jarak 400 mm dan Tebal 14 mm	64
Gambar IV.70	Deformasi Jarak 200 mm dan Tebal 16 mm	65
Gambar IV.71	Tegangan Sisa Jarak 200 mm dan Tebal 16 mm	65

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Koefisien dari Efisiensi setiap Proses Pengelasan	8
Tabel IV.1	Perhitungan Beban <i>Heat Flux</i>	28
Tabel IV.2	Hasil Uji Konvergensi	30
Tabel IV.3	Presentasi Perbandingan Uji Konvergensi	30
Tabel IV.4	Hasil Pada Variasi Jarak 200 mm dan Tebal 12 mm	33
Tabel IV.5	Hasil Pada Variasi Jarak 200 mm dan Tebal 14 mm	34
Tabel IV.6	Hasil Pada Variasi Jarak 200 mm dan Tebal 16 mm	35
Tabel IV.7	Hasil Pada Variasi Jarak 300 mm dan Tebal 12 mm	36
Tabel IV.8	Hasil Pada Variasi Jarak 300 mm dan Tebal 14 mm	37
Tabel IV.9	Hasil Pada Variasi Jarak 300 mm dan Tebal 16 mm	38
Tabel IV.10	Hasil Pada Variasi Jarak 400 mm dan Tebal 12 mm	39
Tabel IV.11	Hasil Pada Variasi Jarak 400 mm dan Tebal 14 mm	40
Tabel IV.12	Hasil Pada Variasi Jarak 400 mm dan Tebal 16 mm	41
Tabel IV.13	Hasil Pada Variasi Jarak 200 mm dan Ukuran Baut M 20	42
Tabel IV.14	Hasil Pada Variasi Jarak 200 mm dan Ukuran Baut M 24	43
Tabel IV.15	Hasil Pada Variasi Jarak 200 mm dan Ukuran Baut M 27	44
Tabel IV.16	Hasil Pada Variasi Jarak 300 mm dan Ukuran Baut M 20	45
Tabel IV.17	Hasil Pada Variasi Jarak 300 mm dan Ukuran Baut M 24	46
Tabel IV.18	Hasil Pada Variasi Jarak 300 mm dan Ukuran Baut M 27	47
Tabel IV.19	Hasil Pada Variasi Jarak 400 mm dan Ukuran Baut M 20	48
Tabel IV.20	Hasil Pada Variasi Jarak 400 mm dan Ukuran Baut M 24	49
Tabel IV.21	Hasil Pada Variasi Jarak 400 mm dan Ukuran Baut M 27	50
Tabel IV.22	Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 20 dan Tebal 12 mm	51
Tabel IV.23	Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 20 dan Tebal 14 mm	52
Tabel IV.24	Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 20 dan Tebal 16 mm	53
Tabel IV.25	Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 24 dan Tebal 12 mm	54
Tabel IV.26	Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 24 dan Tebal 14 mm	55
Tabel IV.27	Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 24 dan Tebal 16 mm	56
Tabel IV.28	Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 27 dan Tebal 12 mm	57
Tabel IV.29	Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 27 dan Tebal 14 mm	58
Tabel IV.30	Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 27 dan Tebal 16 mm	59
Tabel IV.31	Hasil Pada Variasi Jarak 200 mm	60
Tabel IV.32	Hasil Pada Variasi Jarak 300 mm	61
Tabel IV.33	Hasil Pada Variasi Jarak 400 mm	62
Tabel IV.34	Hasil Pada Variasi Tebal 12 mm	63
Tabel IV.35	Hasil Pada Variasi Tebal 14 mm	64
Tabel IV.36	Hasil Pada Variasi Tebal 16 mm	65

DAFTAR SIMBOL

Q	= <i>Heat input</i> bersih (Watt)
η	= Koefisien dari efisiensi las
U	= Tegangan yang digunakan pada saat pengelasan (Volt)
I	= Besarnya arus listrik yang digunakan (Ampere)
q_e	= <i>Heat flux</i> (Watt/m ²)
A_f	= Luas area pembebanan yang dihasilkan dari proses pengelasan (m ²)
A_e	= Luas area elektroda yang digunakan (m ²)
λ	= Koefisien dari konduktivitas panas, (J.m ⁻¹ .s ⁻¹ .K ⁻¹)
q_2	= <i>Heat flow density</i> (J.m ⁻² .s ⁻¹)
$\partial T/\partial n$	= Gradien dari temperatur (K.m ⁻¹)
C	= <i>Specific heat capacity</i> (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)
ρ	= Massa jenis material (kg.m ⁻³)
q_3	= Volume jenis dari sumber panas (W.m ⁻³)
α	= Difusi termal, (m ² .s)
J	= Masukan panas = $\frac{60EI}{V}$ (Joule/cm)
T	= Suhu di daerah HAZ (°C)
T_0	= Suhu mula material las (°C)
t	= Tebal material las (mm)
ε	= Regangan
E	= Modulus Young
σ^I	= Tegangan dalam orde 1
σ^{II}	= Tegangan dalam orde 2
σ^{III}	= Tegangan dalam orde 3
σ	= Tegangan sisa yang terjadi
σ_x	= Tegangan tegak lurus garis las
σ_y	= Tegangan searah garis las
ε_x	= Regangan tegak lurus garis las
ε_y	= Regangan searah garis las
ν	= Angka perbandingan poison
τ	= Tegangan geser
F_s	= Gaya (N)
A_s	= Luas bidang geser (m ²)
G	= Modulus geser
γ	= Regangan geser
M_0	= Momen bending
Q_0	= Gaya geser
Ω	= <i>Angular distortion</i>
w	= Distorsi
σ_y	= Tegangan <i>yield</i>

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen (DIN)*, las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. (Wiryosumarto & Okumura, 1996).

Ada dua jenis posisi pengelasan pelat yang biasa digunakan yaitu *butt weld* dan *fillet weld*. *Butt weld* merupakan sambungan las yang posisinya sejajar antar kedua material. *Fillet weld* merupakan sambungan las yang posisinya tegak lurus antar kedua material.

Selama pengelasan, material mengalami deformasi yang disebabkan oleh masukan panas pada proses pengelasan yang mengubah bentuk awal komponen yang dilas. Selain itu, material juga akan mengalami pembentukan tegangan sisa yang disebabkan perubahan suhu yang tidak homogen, sehingga logam mengalami pemuaian dan dekomposisi fasa yang tidak sama. Oleh karena itu, dilakukan beberapa cara untuk meminimumkan deformasi dan tegangan sisa. Salah satunya adalah dengan menggunakan *stopper* pada material yang akan dilas. Namun penggunaan *stopper* yang berlebihan dapat menimbulkan tegangan sisa yang besar pada material, sehingga dapat menyebabkan retak pada hasil pengelasan.

Pada umumnya, *stopper* dipasang dengan cara dilas dikedua bagian yang bersentuhan langsung dengan *base metal* (konvensional). Pemakaian *stopper* konvensional ini telah lama dipakai di galangan. Namun, saat ini galangan mencoba untuk memakai *stopper* model baru yang dipasang dengan cara dibaut.

Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini akan dianalisis perbandingan pengaruh *stopper* model baut dengan konvensional terhadap tegangan sisa dan deformasi pada pelat baja karbon dengan variasi dimensi *stopper* untuk mengetahui ukuran ideal dari *stopper* yang digunakan pada saat pengelasan. Proses analisis akan dilakukan menggunakan simulasi elemen hingga dengan membandingkan variasi ukuran *stopper* sehingga didapatkan nilai tegangan sisa dan deformasinya.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir meliputi:

1. Berapa besar deformasi yang terjadi pada material?
2. Berapa besar tegangan sisa yang terjadi pada material?
3. Bagaimana pengaruh *stopper* model baut dan konvensional terhadap deformasi dan tegangan sisa?

I.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui besarnya deformasi pada material setiap variasi ukuran *stopper*.
2. Mengetahui besarnya tegangan sisa pada material setiap variasi ukuran *stopper*.
3. Mengetahui jenis *stopper* yang memberi pengaruh paling baik terhadap deformasi dan tegangan sisa pada material.

I.4. Batasan Masalah

Agar pembahasan yang disajikan tidak terlalu luas, maka perlu diberikan batasan masalah dalam pengerjaan tugas akhir ini. Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah pelat baja.
2. Sudut pemasangan *stopper* adalah 90^0 .
3. Bentuk material adalah pelat datar ukuran 6000 mm x 1800 mm x 12 mm dengan sambungan pengelasan *butt join*.
4. *Stopper* yang digunakan memiliki dimensi panjang *stopper* adalah 650 mm, lebar *stopper* adalah 150 mm, serta variasi tebal *stopper* adalah 12 mm, 14 mm dan 16 mm.
5. *Stopper* dipasang pada variasi jarak 200 mm, 300 mm dan 400 mm.
6. Variasi diameter baut adalah M 20, M 24 dan M 27.
7. Proses pengelasan yang dilakukan adalah SMAW.
8. Metode yang digunakan untuk menghitung tegangan sisa dan deformasi yaitu dengan menggunakan simulasi model elemen hingga.

I.5. Manfaat

Dari laporan tugas akhir ini, diharapkan dapat digunakan sebagai acuan dalam memperkirakan besar deformasi dan tegangan sisa dengan variasi ukuran tebal dan jarak *stopper* yang beragam pada masing-masing model *stopper*, serta dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan ukuran dan jarak *stopper* pada pengelasan yang ideal, sehingga dapat meminimalkan biaya yang dikeluarkan akibat kurang sesuainya pengelasan.

I.6. Hipotesis

Berdasarkan literatur yang ada, maka hipotesis awal dari analisis ini adalah *stopper* konvensional akan memiliki deformasi yang lebih baik daripada *stopper* model baut, karena dikekang dengan kedua sisi yang seimbang.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Landasan Teori

II.1.1. Pengelasan

Menurut *American Welding Society (AWS)*, las atau *weld* adalah penggabungan setempat bahan logam maupun non logam melalui proses pemanasan material pada suhu/temperature tertentu, dengan atau tanpa pemberian beban/tekanan, dan dengan atau tanpa menggunakan *filler metal*. (Pratama, 2016)

Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen (DIN)*, las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. (Wiryosumarto & Okumura, 1996).

Selama proses pengelasan, bagian yang dilas akan menerima panas setempat dan suhunya akan terus berubah sehingga distribusi temperatur tidak merata. Pemberian panas tersebut juga mengakibatkan bagian material yang dilas akan mengalami pengembangan *thermal*, sedangkan di bagian lain yang tidak terkena panas akan tetap dan tidak mengalami pemuaian *thermal*. Kejadian tersebut akan mengakibatkan terjadinya peregangan yang rumit dan akan mengakibatkan perubahan bentuk mekanik yang sifatnya tetap pada material. (Mahfud, 2012)

Sambungan las adalah dua atau lebih material yang digabungkan melalui proses pengelasan. Tipe sambungan las dipilih berdasarkan metode pengelasan dan tebal pelat yang digunakan. Tipe sambungan dikatakan optimum apabila sambungan tersebut memenuhi kekuatan struktur dan kualitas dari proses pengelasan. Ukuran dari sambungan las akan memengaruhi biaya pengelasan, karena semakin besar volume yang dibentuk dari sambungan las maka akan semakin besar pula kebutuhan kawat las atau *filler metal* yang digunakan untuk mengisi volume tersebut. Oleh karena itu volume sambungan las dibuat agar memiliki ruang sekecil mungkin. Selain itu sambungan las juga memberikan pengaruh pada besarnya panas yang diberikan (*heat input*) selama proses pengelasan. Hal tersebut akan berakibat pada kekuatan material dalam menerima beban kejut (*impact*) dan deformasi pada material. (Pratama, 2016)

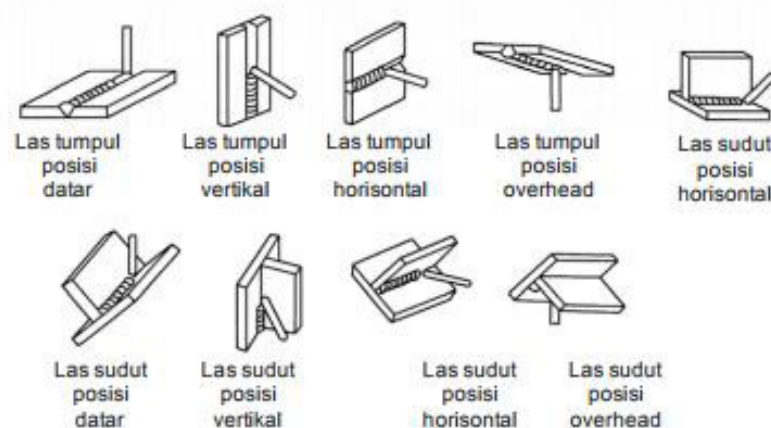
Selain itu, terdapat beberapa variasi sambungan las sebagai pilihan berdasarkan ketebalan dan kualitas material, metode pengelasan, bentuk struktur dan sebagainya. Sambungan-sambungan kampuh las dapat juga diklasifikasikan berdasarkan metode pengelasan, antara lain las tumpul, las sudut, las tepi, las lubang, dan las tumpang, seperti ditunjukkan pada gambar II.1. (Sunaryo, 2008)



Sumber: Sunaryo, 2008

Gambar II.1 Macam-Macam Las

Terdapat empat posisi pengelasan: datar, vertikal, horizontal dan di atas kepala (*overhead*), seperti ditampilkan pada gambar II.2. Ketinggian meja dan bangku kerja harus disetel untuk memudahkan pengelasan, sehingga tukang las berada pada posisi yang nyaman. Pengelasan *overhead* dan pengelasan pipa sangat sulit sehingga sambungan-sambungan yang rumit dan efisiensi pengelasan yang tinggi belum dapat diharapkan, meskipun dengan juru las terlatih. Oleh karena itu sedapat mungkin pengelasan dilakukan dalam posisi datar dengan menggunakan *positioner*. (Sunaryo, 2008)



Sumber: Sunaryo, 2008

Gambar II.2 Macam-Macam Posisi Pengelasan

II.1.2. Siklus *Thermal* Daerah Lasan

Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas yang juga disebut sebagai "Heat Affected Zone" dan disingkat menjadi daerah HAZ serta logam induk yang tak terpengaruhi. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau daerah HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tak terpengaruhi adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Dalam membahas siklus termal daerah lasan, hal-hal yang perlu dibahas meliputi proses pembekuan, reaksi yang terjadi dan struktur mikro yang terbentuk (Wiryosumarto & Okumura, 1996)

Hampir semua proses pengelasan dilakukan dengan cara melakukan pemanasan setempat atau lokal. Beban *heat input* yang diberikan pada saat pengelasan menyebabkan peningkatan temperatur material yang terkena busur api las sampai pada suhu lebur. Perubahan temperatur pada daerah yang mengalami kontak langsung dengan busur las berlangsung dengan sangat cepat sehingga menciptakan perbedaan temperatur dengan daerah di dekatnya. Segera setelah perbedaan temperatur terjadi, panas mulai mengalir ke sekitar daerah pengelasan yang mempunyai temperatur lebih rendah sehingga terjadi distribusi panas ke daerah sekitar alur las.

Distribusi temperatur yang terjadi pada saat proses pemanasan maupun pendinginan tidak merata pada seluruh material. Distribusi temperatur yang tidak merata terjadi baik dalam hal tempatnya pada material maupun bila ditinjau dari segi waktu terjadinya. Ketidakmerataan distribusi temperatur menyebabkan timbulnya deformasi pada struktur las. Sehingga untuk dapat menyelesaikan berbagai persoalan dari tegangan dan deformasi hasil pengelasan harus diketahui dulu bagaimana distribusi dari temperatur yang dihasilkan terhadap material las. (Morna, 2012)

II.1.3. Masukan Panas (*Heat Input*)

Dalam proses pengelasan, tidak semua energi digunakan untuk memanaskan elektroda dan logam las. Sebagian energi yang dihasilkan terserap ke lingkungan karena adanya kontak dengan udara lingkungan sekitar. Sehingga energi efektif yang digunakan dalam pengelasan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = \eta U I \quad (2.1)$$

- Ket : Q = *Heat input* bersih (Watt)
 η = Koefisien dari efisiensi las
 U = Tegangan yang digunakan pada saat pengelasan (Volt)
 I = Kuat arus (Ampere)

Tabel II.1 Koefisien dari Efisiensi setiap Proses Pengelasan

Welding Process	SAW Stell	SMAW Stell	GMAW CO ₂ Stell	GMAW Ar Stell	GTAW Ar Stell	GTAW He Al	GTAW Ar Al
η	0.9–0.99	0.66-0.85	0.75-0.93	0.66-0.7	0.25-0.75	0.55-0.8	0.2-0.46

Panas yang dihasilkan oleh pengelasan tidak sepenuhnya terserap oleh logam las yang dilas sebagai *heat input*, namun sebagian terpancarkan ke udara bebas sebagai kehilangan panas (*heat loss*). Masukan panas yang terserap oleh logam induk tergantung pada kerapatan energi (*energy density*) dari teknik pengelasan tersebut. Semakin besar kerapatan energinya semakin rendah masukan panas yang diserap untuk suatu proses pengelasan. Jenis logam dan kerapatan energi akan menentukan laju pemanasan (*heating rate*) dari logam yang dilas. Masukan panas akan menentukan suhu tertinggi yang terjadi pada logam las sehingga mempengaruhi struktur mikro serta sifat mekanis sambungan las. (Pratama, 2016)

II.1.4. Tegangan Sisa

Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan suhunya terus berubah sehingga distribusi suhu tidak merata. Karena panas tersebut, maka pada bagian yang dilas terjadi pengembangan *thermal*. Sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk penghalangan pengembangan yang mengakibatkan terjadinya peregangan yang rumit. Kalau tidak dihindari, peregangan ini akan menyebabkan terjadinya perubahan bentuk tetap yang disebabkan karena adanya perubahan besaran mekanik. Disamping terjadi perubahan bentuk, yang dengan sendirinya terjadi regangan, maka terjadi juga tegangan yang sifatnya tetap yang disebut dengan tegangan sisa. (Wirjosumarto & Okumura, 1996)

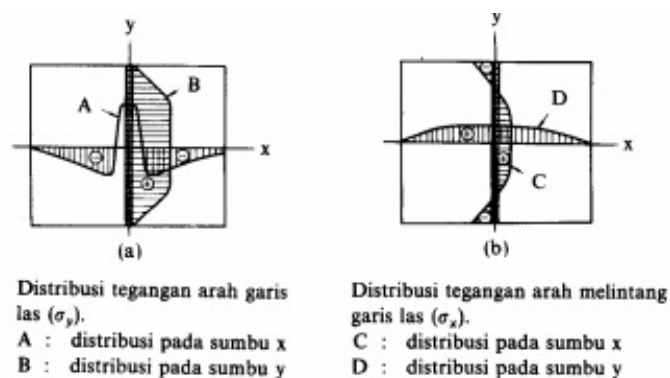
Pada pengelasan baja lunak, kekuatan luluh dan tarik logam pada daerah las lebih tinggi daripada logam induk, tetapi perpanjangannya lebih rendah. Kekuatan luluh secara keseluruhan menjadi lebih tinggi, maka tegangan sisa tidak memengaruhi kekuatan luluh dari sambungan secara keseluruhan. Perbandingan antara tegangan sisa dan tegangan yang terjadi

sangat kecil, sehingga tegangan sisa boleh dikatakan tidak berpengaruh terhadap terjadinya patah (Wiryosumarto & Okumura, 1996).

Jumlah pemasangan tanggem/pengekangan pada proses pengelasan akan berpengaruh pada besarnya deformasi dan tegangan sisa yang terjadi. Semakin banyak pengekangan yang dilakukan, maka akan mengakibatkan semakin kecilnya deformasi yang terjadi tetapi di lain pihak hal ini akan memperbesar tegangan sisa. Pengekangan pada proses pengelasan akan menghasilkan keseimbangan antara deformasi dan besarnya tegangan sisa. Pada kondisi pengekangan yang ekstrim, kecenderungan hasil pengelasan akan terjadi cacat retak yang tentunya harus dihindari. Besar derajat pengekangan pada proses pengelasan merupakan fungsi dari jenis sambungan, kekakuan struktur, jarak pemasangan tanggem dan tebal pelat. (Wiryosumarto & Okumura, 1996)

Dalam kasus pengelasan, tegangan sisa terjadi karena adanya penyusutan material pada waktu pendinginan setelah pengelasan selesai. Besarnya tegangan sisa yang terjadi dapat diperkecil dengan cara mengurangi *heat input* dan banyaknya deposisi logam lasan dengan cara memperkecil *bevel*/kampuh las dan memperkecil *root space* pada alas tumpul. Untuk sudut las, dapat dilakukan dengan memperkecil panjang kaki las dan penguat. Urutan pengelasan yang baik, juga digunakan untuk mengurangi tegangan sisa yang disebabkan oleh *external constraint*. Cara yang paling banyak dilakukan untuk membebaskan tegangan sisa adalah dengan proses *annealing*. (Wiryosumarto & Okumura, 1996)

Gambar II.3 menjelaskan bahwa distribusi tegangan sisa tergantung dari jenis dan bentuk lasan. Dalam hal las tumpul, pada garis lasan dengan arah memanjang akan mencapai batas kekuatan luluh pada garis las dan kemudian menurun dan mencapai nol pada ujung pelat. Sedangkan pada arah melintang, garis las terjadi keseimbangan antara tegangan tarik dan tekan. (Wiryosumarto & Okumura, 1996)

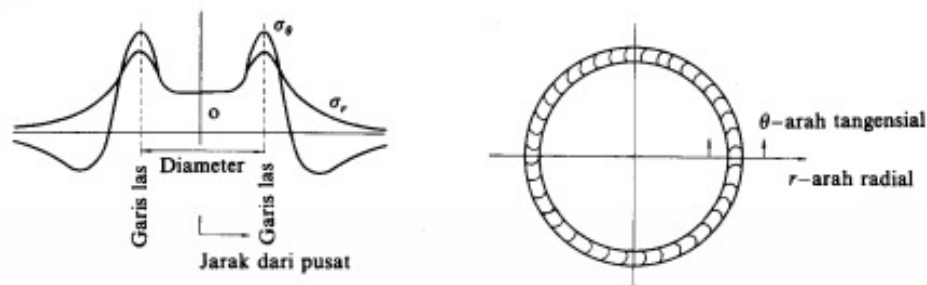


Sumber: Wiryosumarto & Okumura, 1996

Gambar II.3 Skema Distribusi Tegangan Sisa dalam Sambungan Las Tumpul

Dalam sambungan las bentuk lingkaran, distribusi tegangannya seperti ditunjukkan oleh gambar II.4. Distribusi dalam arah sudut, selalu simetris terhadap satu garis yang melalui pusat lingkaran dan sifat tegangannya, baik pada arah sudut maupun pada arah radial selalu tarik. Distribusi tegangan dalam sambungan melingkar pada pipa hampir sama seperti pada lasan pelat datar. (Wiryosumarto, 1996)

Dalam sambungan las sudut, distribusi tegangan sisa lebih rumit. Distribusi tegangan sisa pada arah memanjang dari suatu sambungan sudut berbentuk huruf T. Daerah *flens* terjadi tegangan tarik yang tinggi pada garis las dan tegangan tekan pada kedua ujung dari *flens*. Sedangkan pada daerah badan, tegangan tarik yang tinggi berubah menjadi tegangan tekan dan berubah kembali menjadi tegangan tarik pada jarak tertentu dari garis las.



Sumber: Wiryosumarto & Okumura, 1996

Gambar II.4 Skema Distribusi Tegangan Sisa Pada Las Berbentuk Lingkaran

II.1.5. Deformasi

Dalam proses pengelasan, karena adanya pencairan, pembekuan, pengembangan termal, perpindahan dan penyusutan maka pada konstruksi las selalu terjadi perubahan bentuk yang sangat rumit. Walaupun demikian secara kasar perubahan bentuk yang terjadi masih dapat dipisah-pisahkan. Faktor yang memengaruhi terbentuknya deformasi las dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu kelompok pertama yang erat hubungannya dengan masukan panas pengelasan dan kelompok kedua yang disebabkan oleh adanya penahan atau penghalang pada sambungan las. Faktor yang termasuk dalam kelompok pertama adalah masukan panas pengelasan (yang ditentukan oleh tegangan listrik, aliran listrik, kecepatan pengelasan dan ukuran serta jenis elektroda), cara pemanasan, suhu pemanasan mula, tebal pelat, geometri sambungan dan jumlah lapisan dari lasan. Sedangkan yang tercakup dalam kelompok kedua adalah bentuk, ukuran serta susunan dari batang-batang penahan dan urutan pengelasan. (Wiryosumarto & Okumura, 1996)

Struktur las yang mengalami deformasi tidak dapat diterima dari sudut pandang ketepatan ukuran dan estetika. Tegangan sisa yang besar pada struktur las dapat menyebabkan kerusakan struktur selama penggunaan. Jika seluruh struktur dipanaskan dan didinginkan secara merata, struktur tersebut akan memuai dan menyusut secara merata, tanpa deformasi atau tegangan termal. Bagaimanapun, saat mengelas sebuah struktur, daerah las memuai dan menyusut secara terbatas seperti bila dipanaskan dan didinginkan secara cepat. Apabila daerah las ditahan dengan logam induk disekelilingnya, tegangan sisa dan deformasi juga akan timbul. Jika struktur yang dilas terbuat dari logam tipis, daerah las melengkung. Jika struktur yang dilas terbuat dari pelat tebal dan ditahan dengan struktur logam disekelilingnya, deformasi pada daerah las akan sangat kecil dan tegangan sisa timbul di sekelilingnya. Dengan demikian, deformasi dan tegangan sisa memiliki hubungan saling berlawanan satu sama lain; jika yang satu dikurangi, yang lain akan bertambah. Tegangan sisa pada struktur yang berkaitan dengan panjang deformasi menyebabkan ketidaksesuaian ukuran, yang menghasilkan retak dan memicu retak rapuh dan karat. (Sunaryo, 2008)

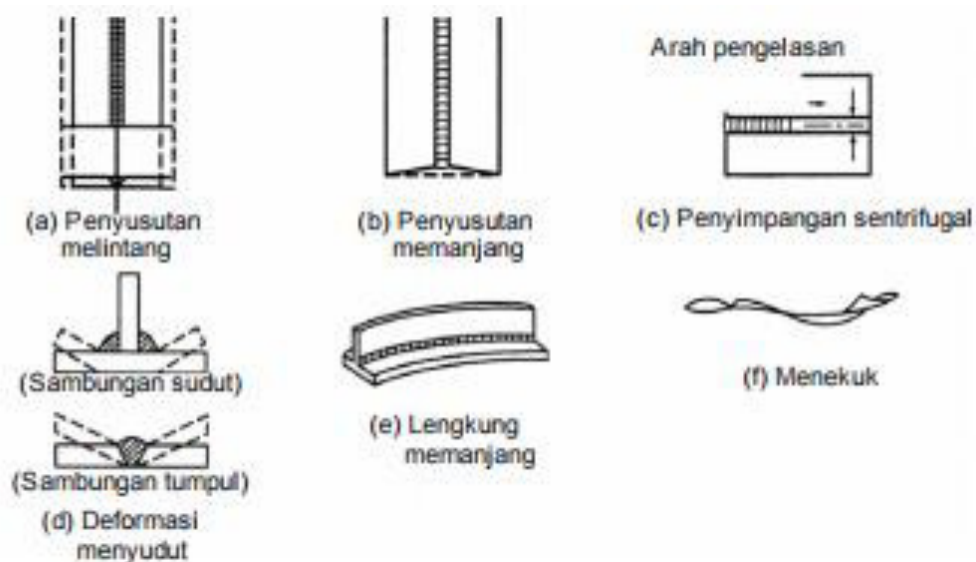
Berikut dibawah ini adalah jenis-jenis deformasi karena pengelasan :

1. Penyusutan melintang (*transverse shrinkage*), yaitu penyusutan material tegak lurus terhadap garis las pada proses pengelasan. Faktor yang menyebabkan terjadinya penyusutan melintang adalah perubahan bentuk puntir. Faktor lain adalah pengeangan, yaitu banyaknya penyusutan yang terjadi ditentukan oleh seberapa besar derajat pengeangan yang terjadi dalam sambungan .
2. Penyusutan memanjang (*longitudinal shrinkage*), yaitu penyusutan material searah garis las pada proses pengelasan. Besarnya penyusutan yang terjadi biasanya sekitar 1/1000 dari panjang sambungan. Biasanya penyusutan seperti ini jarang terjadi, oleh karena itu, studi spesifik jarang dilakukan.
3. Perubahan bentuk puntir (*rotational deformation*), yaitu ketika pengelasan dilakukan secara progresif dan kontinu dari ujung ke ujung, bagian sambungan yang tidak mengalami pengelasan akan mengalami pergerakan sehingga terjadi puntiran.
4. Perubahan bentuk sudut (*angular shrinkage*), yaitu perubahan sudut yang terjadi karena distribusi panas yang tidak merata.
5. Deformasi memanjang (*bending*), yaitu deformasi dalam bidang yang melalui garis las dan tegak lurus pada pelat. Hal ini terjadi karena ketika garis lasan tidak

sama dengan sumbu netral dari geometri struktur las, jadi penyusutan memanjang ikut termasuk terjadinya tekukan ke arah memanjang searah jalur las.

6. Deformasi berombak, yaitu kompresi yang berkenaan dengan ketidakstabilan panas ketika pelatnya tipis. (Sunaryo, 2008)

Macam-macam bentuk deformasi ini dijelaskan pada gambar II.5.

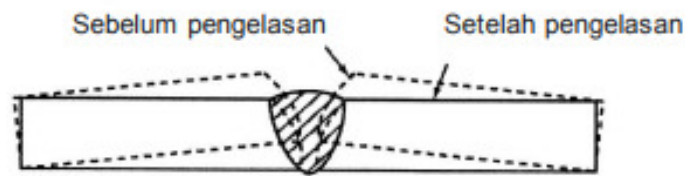


Sumber: Sunaryo, 2008

Gambar II.5 Macam-Macam Bentuk Deformasi Las

Deformasi las dipengaruhi oleh bermacam-macam faktor, seperti metode pengelasan, masukan panas, ketebalan pelat, bentuk sambungan, sudut penahan, urutan pengelasan, dan urutan pengerjaan. Deformasi las dapat dicegah dengan mengontrol faktor-faktor tersebut. Dalam hal ini, tindakan-tindakan pencegahan deformasi berikut ini harus diambil saat pelaksanaan pengelasan.

1. Meminimumkan masukan panas (*heat input*) total pada tiap-tiap daerah pengelasan.
2. Bentuk kampuh bersudut kecil dengan bukaan akar kecil juga meminimumkan jumlah logam las.
3. Hindari sambungan yang terkonsentrasi untuk mencegah konsentrasi masukan panas pengelasan.
4. Gunakan tumpuan penahan.
5. Ubahlah urutan pengelasan untuk memastikan penyusutan secara simetris dan untuk menghindari konsentrasi masukan panas.
6. Gunakan metode pengaturan penyimpangan (Lihat gambar II.6) (Sunaryo, 2008)



Sumber: sunaryo, 2008

Gambar II.6 Metode Pengaturan Penyimpangan

Deformasi pengelasan dapat diperbaiki dengan metode tekanan mekanis atau metode termal. Terdapat dua jenis metode termal: Metode pelurusan termal dan metode pemanasan/pendinginan setempat. Metode tekanan mekanis dilakukan pada plat tipis. Logam yang mengalami deformasi diluruskan secara langsung dengan menggunakan palu. Metode pelurusan termal meluruskan benda kerja dengan memberikan tekanan pada benda kerja melalui pemanasan pada suatu rentang suhu tertentu. Metode pemanasan/pendinginan setempat, meluruskan benda kerja dengan memanfaatkan pemuaian dan penyusutan panas dari pelat baja. Metode ini lebih jauh diklasifikasikan kedalam pemanasan lurus dan pemanasan titik, dan juga disebut "*Moxa cautery*" (Sunaryo, 2008)

II.1.6. *Stopper*

Stopper merupakan alat penahan yang terbuat dari pelat, dipasang dengan sudut tertentu terhadap garis las. Pelat ini berfungsi sebagai penahan dari kedua pelat yang hendak disambungkan dengan las, sehingga kedua permukaan pelat akan selalu memiliki posisi yang tetap dan rata satu sama lain. Penahanan pada pelat yang akan dilas, berguna untuk mengurangi terjadinya deformasi pada pelat akibat dari pengelasan. Pemasangan stopper yang berlebihan dapat menyebabkan cacat las di daerah sekitar *stopper*. Menurut penelitian yang telah dilakukan, pemasangan *stopper* yang baik berada pada sudut 60° - 70° terhadap alur las. Pemasangan *stopper* dapat mengurangi terjadinya deformasi, namun juga akan menyebabkan terjadinya tegangan sisa.

Stopper merupakan alat penahan yang terbuat dari pelat dengan ketebalan sekitar 10 mm dipasang dengan sudut 45° hingga 90° terhadap garis las. Pelat ini berfungsi sebagai penahan dari kedua pelat yang hendak disambungkan dengan las. Penahanan pada pelat yang akan dilas berguna untuk mencegah terjadinya deformasi pada pelat akibat dari pengelasan. Pemasangan stopper yang berlebihan dapat menyebabkan cacat las di daerah sekitar stopper. (Putra, 2016)

Seiring dengan perkembangan teknologi, perkembangan terhadap model *stopper* juga semakin bervariasi. Pada awalnya, *stopper* yang digunakan di galangan-galangan kapal, menggunakan *stopper* model konvensional, dimana pada *stopper* ini, dilakukan pengelasan di kedua bagian ujungnya yang menempel pada pelat datar. Namun pada saat ini, ada beberapa galangan kapal yang menggunakan *stopper* model baut, dimana *stopper* jenis ini tidak perlu dilakukan pengelasan di setiap bagian yang menempel pada pelat datar, contoh *stopper* model baut dapat dilihat pada gambar II.7 di bawah ini.

Pemilihan penggunaan *stopper* jenis baut, memiliki keunggulan dalam beberapa aspek dibanding dengan *stopper* model konvensional. Keunggulan tersebut, antara lain adalah dalam hal cacat bekas *stopper*, penggunaan *stopper* model baut memberikan cacat bekas *stopper* yang lebih sedikit dibandingkan dengan *stopper* konvensional, hal ini dapat dijelaskan karena penggunaan *stopper* konvensional membutuhkan lebih banyak bagian yang dilas. Selain itu, dalam hal kebutuhan material (pada penelitian dilakukan dengan melibatkan sepuluh blok kapal), *stopper* model baut jauh lebih sedikit menghabiskan material, karena *stopper* model baut hanya mengganti pelat “U” saja, sedangkan *stopper* konvensional perlu mengganti keseluruhan material (satu kali pakai). Sehingga dari segi ekonomis dan kebersihan lokasi pengerjaan, *stopper* model baut lebih dipilih untuk dipakai di galangan. (Wahyu, 2016)



Gambar II.7 *Stopper* Model Baut

II.1.7. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam bidang rekayasa seperti geometri, pembebanan dan sifat-sifat dari material yang sangat rumit. Hal ini sulit diselesaikan dengan solusi analisis matematis. Pendekatan metode elemen hingga adalah menggunakan informasi-informasi pada titik simpul (*node*). Dalam proses penentuan titik simpul yang di sebut dengan pendeskritan

(*discretization*), suatu sistem di bagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, kemudian penyelesaian masalah dilakukan pada bagian-bagian tersebut dan selanjutnya digabung kembali sehingga diperoleh solusi secara menyeluruh. (Morna, 2012)

Metode elemen hingga merupakan salah satu metode numerik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah struktural, termal dan elektromagnetik. Dalam metode ini, seluruh masalah yang kompleks seperti variasi bentuk, kondisi batas dan beban diselesaikan dengan metode pendekatan. Karena keanekaragaman dan fleksibilitas sebagai perangkat analisis, metode ini mendapat perhatian dalam dunia teknik.

Prosedur elemen hingga mengurangi variabel yang tidak diketahui menjadi sejumlah berhingga dengan membagi daerah penyelesaian menjadi bagian kecil yang disebut elemen dan dinyatakan sebagai variabel medan yang tidak diketahui, dalam istilah dianggap sebagai fungsi pendekatan (*approximation functions/interpolation functions/shape functions*) dalam setiap elemen. Fungsi pendekatan didefinisikan sebagai medan variabel dari titik-titik tertentu yang disebut *node*. Variabel medan dapat ditentukan pada beberapa titik menggunakan fungsi interpolasi. Setelah memilih elemen dan variabel titik yang tidak diketahui, selanjutnya menyusun sifat bahan (*properties*) elemen untuk setiap elemen.

II.2. Tinjauan Pustaka

Ada beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai *stopper*. Dari penelitian-penelitian tersebut, diperoleh nilai deformasi dan tegangan sisa dari masing-masing variasi. Dalam upaya pengembangan penelitian tentang *stopper*, tinjauan pustaka dilakukan sebagai salah satu acuan metode penelitian untuk menunjang hasil penelitian berikutnya.

II.2.1. Pengaruh Jarak Tanggem Pada Sambungan *Butt Joint*

Penelitian ini dilakukan oleh Wahyu Bantami, dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2009, dengan judul "*Pengaruh Jarak Tanggem Terhadap Deformasi dan Cacat Retak Pada Sambungan Butt Joint Material Baja SS 41 dengan Pengelasan SMAW*". Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan jarak pemasangan tanggem yang ideal berdasarkan besar deformasi dan tegangan sisa yang terjadi dengan menggunakan metode elemen hingga.

Dari hasil perhitungan pada model, didapatkan bahwa pemasangan tanggem pada jarak 200 mm akan menghasilkan tegangan sisa terbesar diantara ketiga variasi yaitu sebesar 65.4 MPa dengan deformasi sebesar 0.05 mm. Untuk tegangan terkecil terjadi pada variasi

pemasangan tanggem 400 mm yaitu 42.5 MPa dengan deformasi 0.095 mm. Pertimbangan pengambilan variasi terbaik diambil dengan membandingkan besar tegangan sisa yang terjadi. Pada tugas akhir ini didapatkan bahwa jarak pemasangan tanggem yang baik adalah pada jarak 400 mm.

II.2.2. Pengaruh Pada Pengelasan Pipa Beda Jenis

Penelitian ini dilakukan oleh Moh. Zaed Morna, dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2010, dengan judul “*Analisa Terbentuknya Tegangan Sisa dan Deformasi Pada Pengelasan Pipa Beda Jenis Menggunakan Metode Elemen Hingga*”. Pada penelitian ini dilakukan simulasi pengelasan sambungan pipa beda jenis dengan tipe sambungan *butt-joint*. Pipa yang digunakan adalah *Stainless Steel 304L* dan *Carbon Steel A36* dengan *filler metal 309L Filler Wire*.

Dari simulasi didapatkan hasil yang terbaik terdapat pada variasi pemasangan empat buah tanggem dengan jarak antar tanggem 900 yang menghasilkan tegangan sisa maksimum pada *stainless steel* sebesar 210.84 MPa dan pada *carbon steel* sebesar 33.2 MPa. Sedangkan deformasi total maksimum yang terjadi pada *stainless steel* sebesar 2.35 mm dan pada *carbon steel* sebesar 2.19 mm.

II.2.3. Pengaruh Variasi Tanggem Pada Pipa Pengelasan SMAW dan FCAW

Penelitian ini dilakukan oleh Mahfud, dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2012, dengan judul “*Analisa Pengaruh Variasi Tanggem Pada Pengelasan Pipa Carbon Steel Dengan Metode Pengelasan SMAW dan FCAW Terhadap Deformasi dan Tegangan Sisa Menggunakan Analisis Pemodelan Elemen Hingga*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui deformasi dan tegangan sisa pada pengelasan pipa *carbon steel* dengan variasi pemasangan tanggem. Dilakukan analisis pemodelan *software* elemen hingga yang hasilnya divalidasikan dengan hasil pengujian. Pengujian pada penelitian ini menggunakan pipa *carbon steel SA 106 grade B schedule 40* dengan las kombinasi SMAW dan FCAW yang mengacu pada WPS dari pihak galangan kapal. Analisis dilakukan dengan memvariasikan pemasangan tanggem, yaitu: pengelasan pipa tanpa tanggem, pengelasan pipa dengan dua tanggem, dan pengelasan pipa dengan empat tanggem.

Dari analisis didapatkan pengelasan pipa dengan pemasangan tanggem berdasarkan tegangan sisa yang paling kecil, yaitu: pada variasi pengelasan pipa dengan dua tanggem. Pada pengelasan pipa diameter 10 *inches* dengan dua tanggem nilai deformasi total dan

tegangan sisa adalah 0.193 mm dan 79.9 Mpa, pada pengelasan pipa diameter 12 inches dengan dua tanggem nilai deformasi total dan tegangan sisa adalah 0.184 mm dan 74.9 Mpa.

II.2.4. Pengaruh Pada Sambungan *Butt Weld* Pelat Datar

Penelitian ini dilakukan oleh Prayoga Relanda Pratama, dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2016, dengan judul “*Pengaruh Stopper Terhadap Tegangan Sisa dan Deformasi Pada Sambungan Butt Weld Pelat Datar Menggunakan Metode Elemen Hingga*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya deformasi dan tegangan sisa yang terjadi pada pelat datar yang dipasang *stopper* dengan variasi model yaitu empat tebal pelat dasar (8, 12, 16, dan 20 mm), tiga tebal *stopper* (8, 10, dan 12 mm) dan empat jarak pemasangan *stopper* (100, 200, 300, dan 400 mm). Analisa dilakukan menggunakan *software* elemen hingga dengan membuat pemodelan pengelasan pelat datar yang dipasang *stopper*. Hasil dari pemodelan akan divalidasi menggunakan uji konvergensi, hingga data yang dikonvergensi tidak menunjukkan perbedaan persentase yang signifikan.

Dari hasil perhitungan pada model, didapatkan deformasi maksimum sebesar 3.255 mm terjadi pada variasi tebal *base metal* 20 mm, jarak pemasangan *stopper* 400 mm dan tebal *stopper* 8 mm. Deformasi minimum sebesar 0.279 mm terjadi pada variasi tebal *base metal* 8 mm, jarak pemasangan *stopper* 100 mm dan tebal *stopper* 12 mm. Tegangan sisa maksimum sebesar 65.6 MPa terjadi pada variasi tebal *base metal* 20 mm, jarak pemasangan *stopper* 300 mm dan tebal *stopper* 8 mm. Nilai deformasi akan bertambah besar jika jarak pemasangan *stopper* besar dan tebal *stopper* yang digunakan kecil. Deformasi terjadi pada daerah *base metal* yang letaknya jauh dari *stopper* sedangkan tegangan sisa tersebar banyak pada daerah *base metal* yang letaknya berdekatan dengan *stopper*. Pengelasan dengan menggunakan ketebalan *base metal* 8, 12, 16, dan 20 mm efektif diberikan *stopper* dengan jarak pemasangan 100 mm dan ketebalan 12 mm karena menghasilkan nilai deformasi minimum.

II.2.5. Pengaruh Ukuran *Stopper* Pada Sambungan Pelat Kapal

Penelitian ini dilakukan oleh Rafid Buana Putra, dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2017, dengan judul “*Analisis Pengaruh Ukuran Stopper Pada Sambungan Pelat Kapal Terhadap Tegangan Sisa Dan Deformasi Menggunakan Metode Elemen Hingga*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui ukuran optimum dari *stopper* yang digunakan dalam proses pengelasan. Ukuran optimum dapat diketahui dari besarnya deformasi dan tegangan sisa yang terjadi pada pelat logam induk dengan variasi ukuran *stopper* (panjang 200, 300, 400, 500, dan 600 mm) dan variasi bentuk

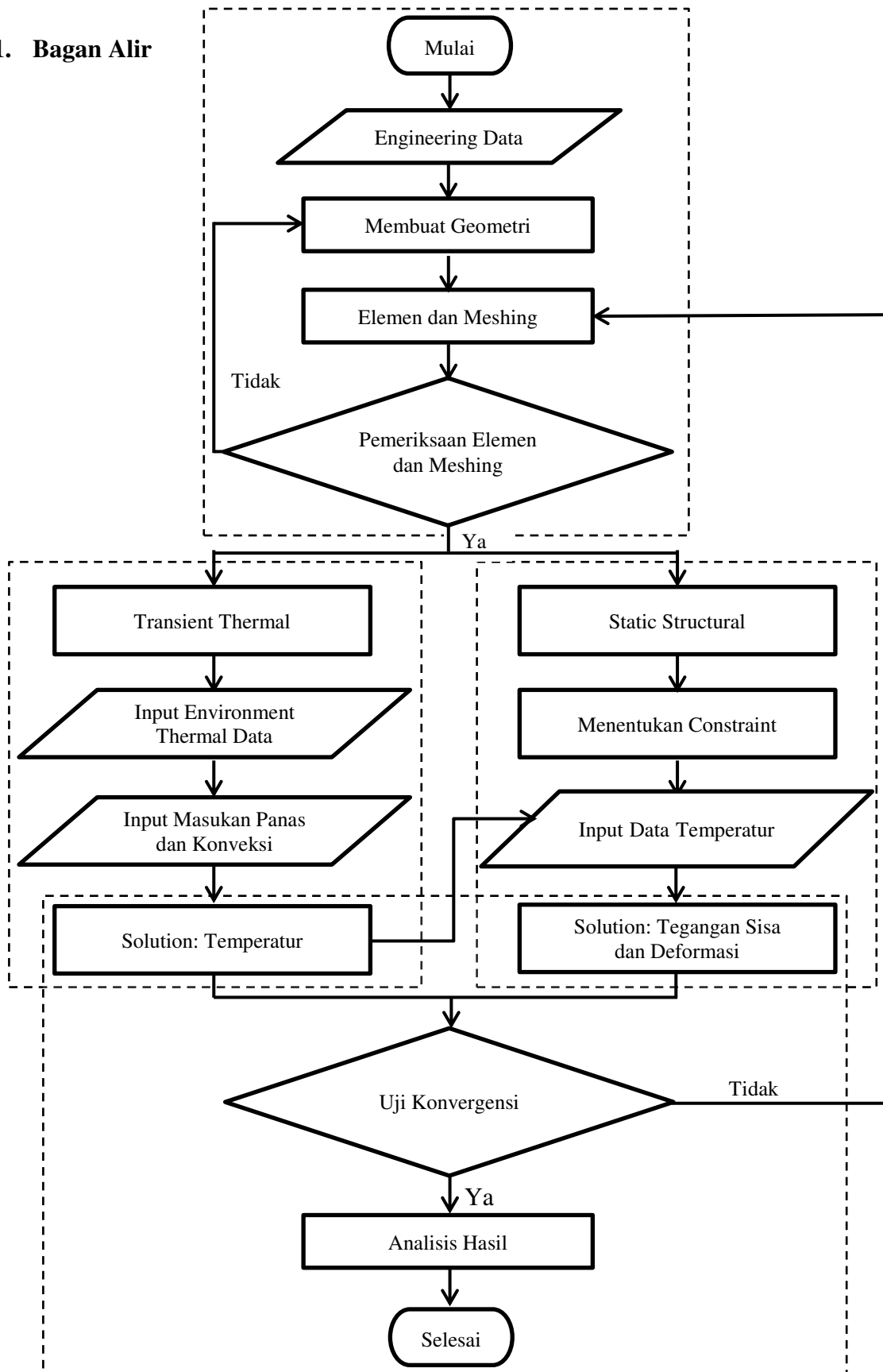
alur las (persegi, v tunggal, dan v ganda). Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan membuat pemodelan pengelasan pelat baja yang dipasang *stopper*.

Dari hasil pemodelan dan analisis, didapatkan hasil yaitu deformasi dan tegangan sisa maksimum terjadi pada panjang *stopper* 200 mm yaitu 2.40 mm dan 184.82 MPa. Sebaliknya, deformasi dan tegangan sisa minimum terjadi pada panjang *stopper* 600 mm yaitu 1.88 mm dan 138.29 MPa. Dapat disimpulkan bahwa semakin panjang *stopper* yang digunakan maka deformasi dan tegangan sisa yang dihasilkan semakin kecil. Dari hasil analisis didapat tegangan sisa pada variasi panjang *stopper* 200 mm masih di bawah *yield stress*, maka *stopper* paling optimum adalah panjang *stopper* 200 mm dan tidak perlu dilakukan analisis untuk panjang *stopper* lebih dari 600 mm.

Dari beberapa penelitian yang ditemukan, banyak yang membahas tentang pengaruh *stopper* konvensional pada pelat datar maupun pipa. Dari semua pembahasannya dihasilkan nilai masing-masing deformasi dan tegangan sisa. Selain itu, beberapa variasi juga telah dilakukan, antara lain adalah variasi mengenai ukuran *stopper*, jarak *stopper*, ukuran material yang dilas, jenis pengelasan, hingga jenis material yang dipakai. Namun, dari semua penelitian belum ada yang membahas tentang *stopper* model baut. Untuk itu perlu dilakukan penelitian mengenai *stopper* model baut untuk memaksimalkan sistem yang ada.

BAB III METODOLOGI

III.1. Bagan Alir



III.2. Metode

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah meliputi beberapa tahapan, antara lain adalah:

1. Pengumpulan Data
2. Pembuatan Model
3. Analisis Data

III.2.1. Pengumpulan Data

Dalam melakukan penelitian, diperlukan data-data sebagai proses *input* dalam analisis. Metode-metode untuk mendapatkan data, dilakukan dengan beberapa cara, antara lain adalah dengan melakukan observasi langsung di lapangan. Observasi dilakukan guna melihat langsung proses kerja yang berjalan dari mulai persiapan, proses pemasangan *stopper*, proses pengelasan, hingga proses pelepasan *stopper*. Selain itu, pengumpulan data juga dilakukan dengan metode wawancara. Metode wawancara dilakukan untuk mengetahui permasalahan yang dihadapi secara kompleks, serta untuk memperoleh data-data yang tidak bisa dilihat secara langsung saat observasi. Selain itu, juga dilakukan studi kepustakaan dengan mengumpulkan berbagai sumber-sumber referensi, baik berupa buku, artikel, dan sumber-sumber lainnya sebagai acuan hasil dan pelaksanaan analisis.

III.2.2. Pembuatan Model

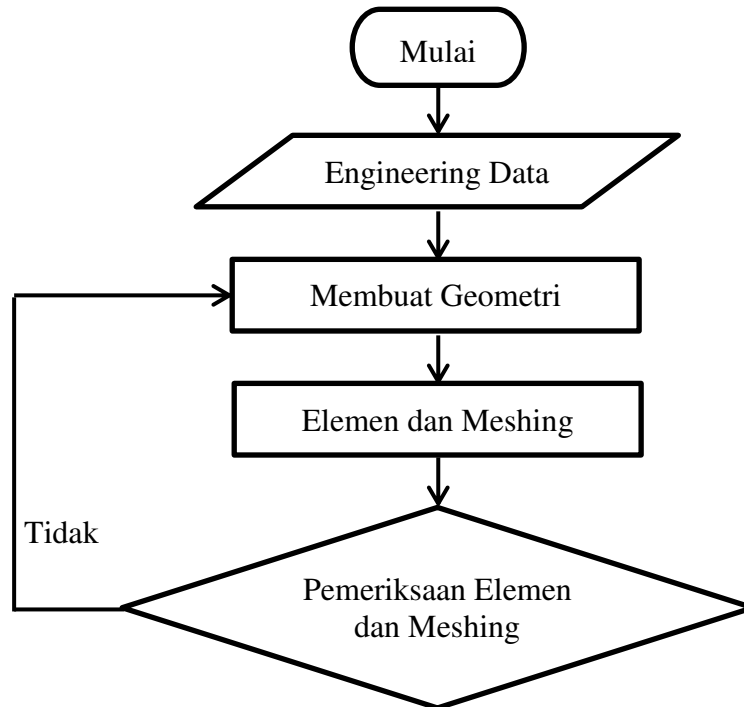
Pada tahap ini, dilakukan proses pembuatan model, tahapan yang dilakukan adalah dimulai dari pembuatan geometri yang di-*input* ke dalam proses *transient thermal* sehingga didapatkan nilai temperaturnya. Geometri yang telah dibuat beserta hasil analisis temperatur dimasukkan ke dalam proses *static structural*, sehingga akan didapatkan nilai dari deformasi dan tegangan sisanya.

III.2.3. Analisis Data

Setelah semua nilai dari hasil *running* pembuatan model didapat, maka dilakukan analisis data dengan membandingkan deformasi dan tegangan sisa dari tiap variasi model. Dalam tahap ini, setidaknya ada beberapa tahapan yang dilakukan, dari mulai survei terhadap sistem yang sedang berjalan, analisis tahapan temuan survei, identifikasi temuan survei, identifikasi persyaratan sistem dan hasil *running* sistem, hingga sampai pada tahap kesimpulan hasil *running* data.

III.3. Proses Pengerjaan

III.3.1. Pemodelan



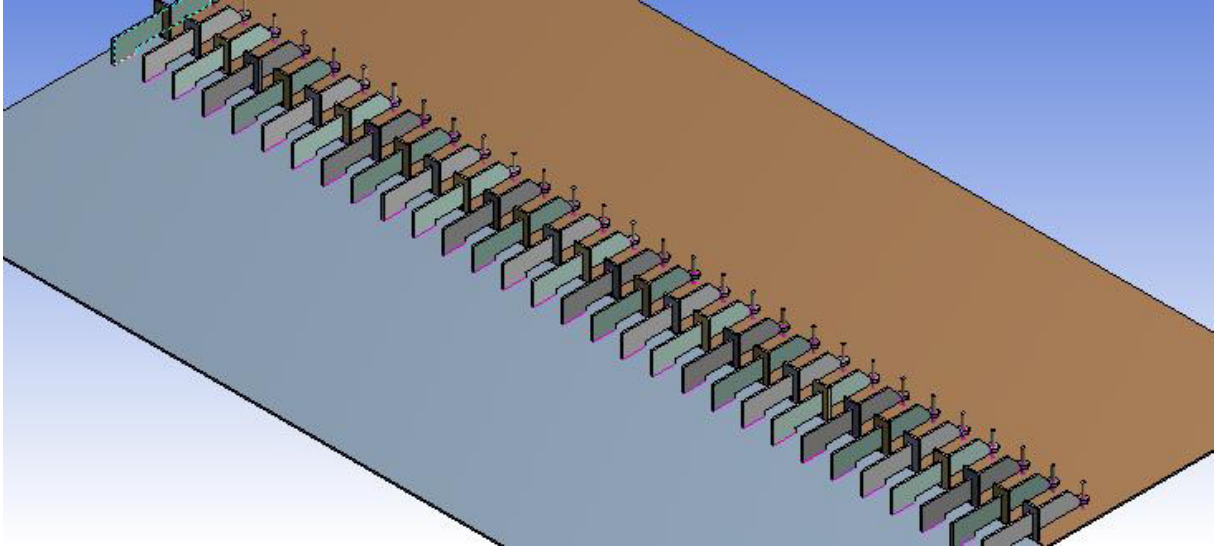
Engineering data berisi tentang data material yang digunakan saat proses analisis. Pemilihan *engineering data* ini merupakan hal yang penting, karena perbedaan pemilihan data, akan menghasilkan nilai analisis yang berbeda pula. Material yang digunakan dalam proses analisis ini adalah *Structural Steel*.

Outline of Schematic B2: Engineering Data			
	A	B	D
1	Contents of Engineering Data		Description
2	Material		
3	Structural Steel		Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material		

Gambar III.3 *Engineering Data*

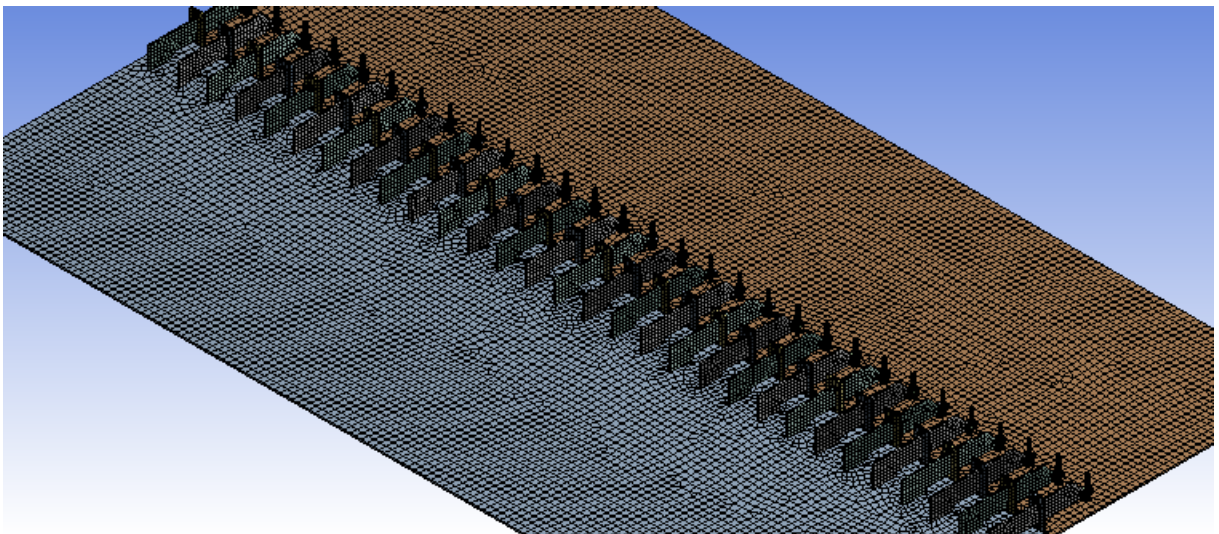
Tahapan selanjutnya adalah membuat geometri. Geometri yang dimodelkan berupa dua pelat sederhana berukuran 6000 mm x 1800 mm x 12 mm yang disambung dengan proses

pengelasan, kemudian diberi *stopper* sebagai penahan. Di antara dua pelat tersebut dibuat kampuh las sebagai tempat untuk memasukkan *input* panas dari pengelasan. Gambar III.4 menunjukkan hasil pembuatan geometri model.



Gambar III.4 Geometri Model

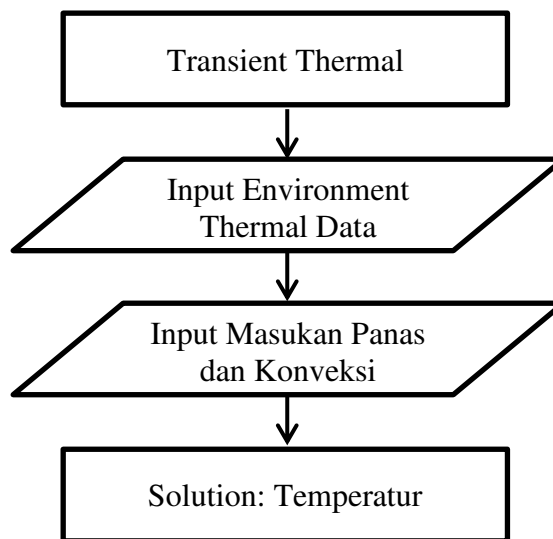
Penentuan *meshing* dilakukan sedemikian rupa, sehingga bentuk *meshing* mendekati bangun persegi. *Meshing* dilakukan dengan membagi keseluruhan sistem menjadi elemen-elemen kecil yang seragam dengan tujuan agar proses analisis menjadi lebih detail. Dalam kasus ini, metode yang mendekati hasil yang sesuai dengan kriteria *meshing* adalah dengan menggunakan metode *body sizing* dan *hexagonal mesh*. Gambar III.5 merupakan *meshing* untuk *stopper* model baut pada variasi jarak 200 mm, tebal 12 mm, dan ukuran baut M 20.



Gambar III.5 *Meshing* Model

Dalam melakukan *meshing*, ada keterbatasan metode yang sering diabaikan atau tidak mendapat perhatian yang memadai. Keterbatasan yang dimaksud dalam hal ini adalah *discretization error*. *Discretization error* merupakan *error* yang diakibatkan kurangnya jumlah elemen yang digunakan untuk merepresentasikan komponen yang dianalisis. Akurasi solusi elemen hingga, semakin meningkat dengan semakin banyaknya jumlah elemen yang digunakan, akan tetapi waktu yang digunakan untuk komputasi juga semakin banyak.

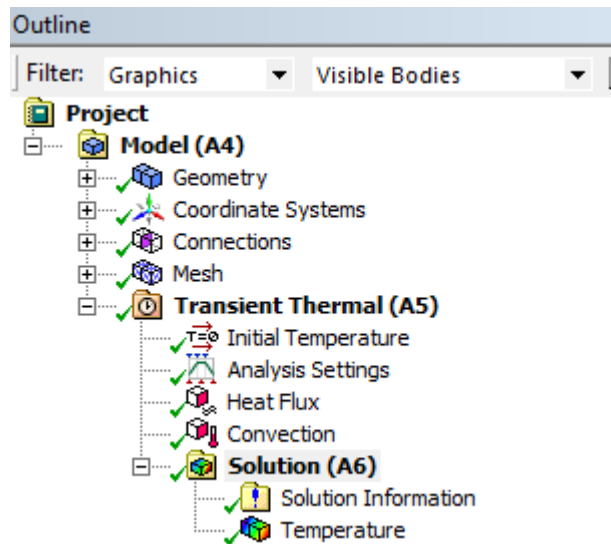
III.3.2. *Transient Thermal*



Pada *Transient Thermal*, langkah-langkah yang dilakukan adalah dengan menentukan *environment thermal*. *Environment* merupakan fasilitas dalam software yang dapat digunakan untuk menandai salah satu bidang permasalahan yang digunakan (dalam hal ini *thermal*) lalu menyimpannya dan suatu saat dapat dipanggil kembali bila dibutuhkan. Yang disimpan dalam *environment* hanya jenis elemen yang digunakan dan temperatur dalam kondisi sebelum dilakukan analisis (temperatur ruangan). Sedangkan geometri dan *meshing* dapat digunakan untuk semua bidang pemodelan tanpa harus membuat lagi.

Proses selanjutnya adalah memasukkan nilai *heat flux* yang dihitung manual dengan rumus yang ada dan memasukkan nilai *convection* dalam temperatur ruangan. *Heat flux* dan *convection* hasil perhitungan diletakkan di *tabular data* yang tersedia di *outline project*. Proses ini dilakukan sebagai pemodelan pengelasan.

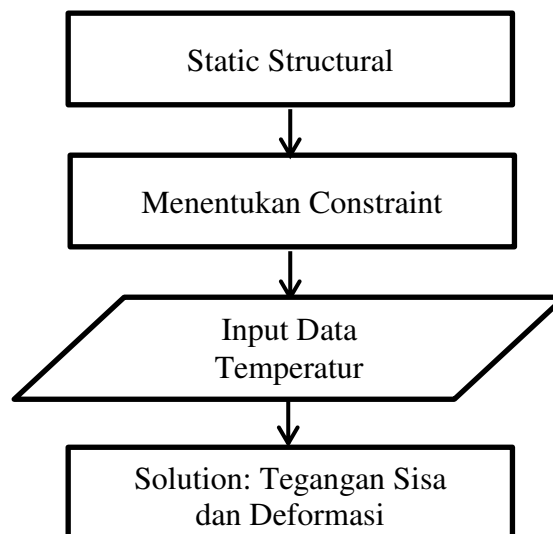
Data yang telah diatur sedemikian rupa dilakukan komputasi sehingga didapatkan nilai temperatur pengelasan yang nantinya digunakan dalam *static structural*. Nilai dari temperatur yang didapat perlu dicek sehingga sesuai dengan kriteria nilai temperatur pengelasan yang ada di lapangan. Gambar III.7 merupakan outline *transient thermal* yang tersusun sesuai dengan tahapan-tahapan dalam mengerjakan *transient thermal*.



Gambar III.7 Outline Transient Thermal

Dalam *outline transient thermal*, perlu dipastikan bahwa seluruh komponen telah ter-*check list*, yang menandakan bahwa analisis berjalan dengan benar.

III.3.3.Static Structural

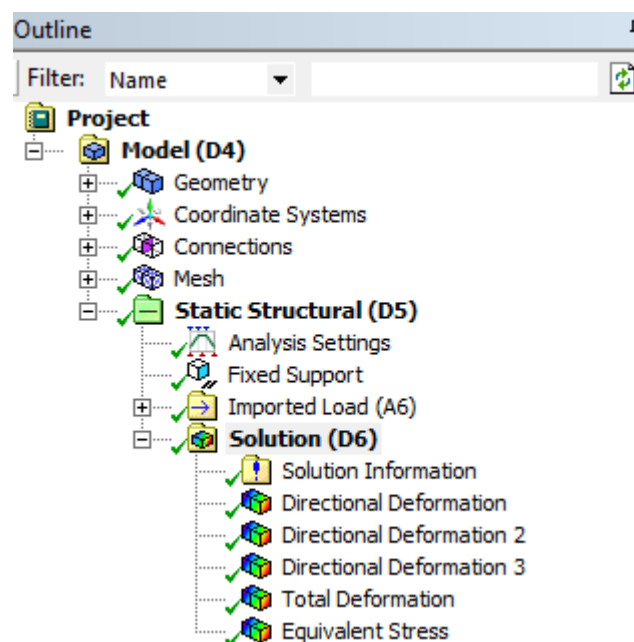


Langkah awal yang perlu dilakukan dalam proses ini adalah, memastikan bahwa *engineering data*, geometri, dan model yang dilakukan saat melakukan analisis menggunakan *static structural*, telah sesuai dengan yang ada di *transient thermal*. Cara yang dilakukan adalah dengan menghubungkan data model yang ada di *transient thermal* menuju *static structural* hingga terlihat tanda *check list*.

Agar proses analisis dalam *static structural* dapat berjalan, maka geometri model perlu diberi tumpuan. Jika model tidak diberi tumpuan maka gaya reaksi akan sangat besar sehingga tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya. Tumpuan dalam pemodelan diberikan pada daerah *stopper* yang dianggap tidak bergerak selama proses pengelasan. Jenis tumpuan yang diberikan dalam proses ini, semuanya dengan menggunakan *fix support*. Tumpuan diletakkan pada bagian *stopper* yang dilas dengan pelat datar.

Hasil komputasi pada *transient thermal* yang berupa nilai dari temperatur pengelasan, dimasukkan keproses *static thermal*. Caranya adalah dengan menghubungkan data solution yang ada di *transient thermal* menuju data *setup* yang ada di *static structural*. Nilai dari temperatur ini yang digunakan sebagai beban dalam proses analisis. Beban diberikan kebagian kampuh las pada model.

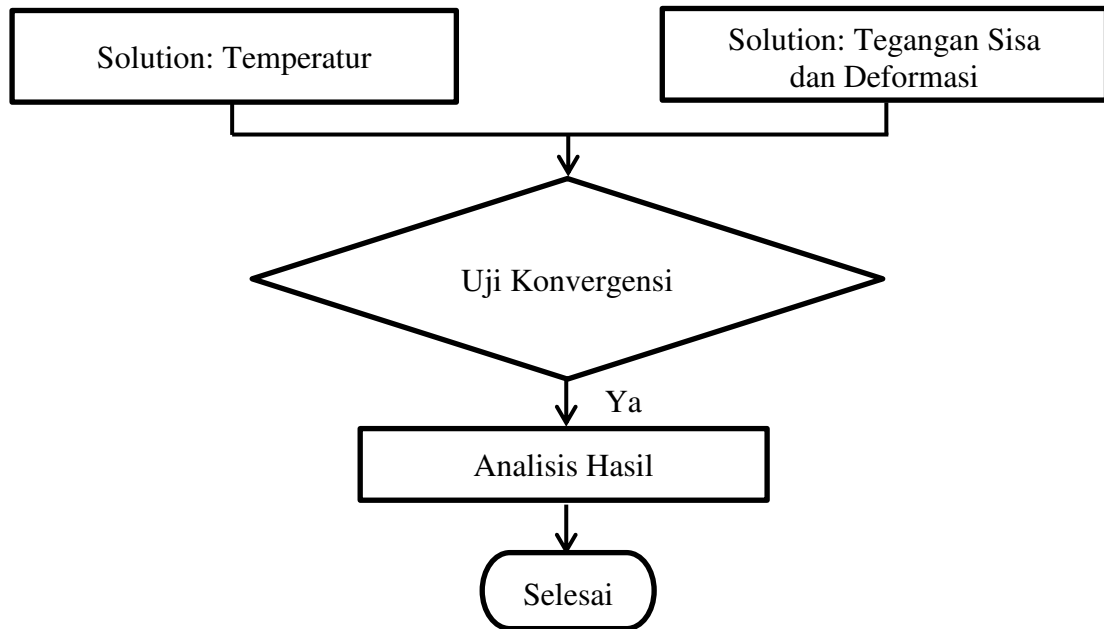
Setelah data telah dipastikan sesuai dengan kriteria analisis, maka dilakukan proses komputasi (*running*) model analisis. Dari komputasi ini, akan didapatkan nilai deformasi dan tegangan sisa. Gambar III.9 merupakan outline *static structural* yang tersusun sesuai dengan tahapan-tahapan dalam mengerjakan *static structural*.



Gambar III.9 Outline Static Structural

Dalam *outline static structural*, perlu dipastikan bahwa seluruh komponen telah ter-*check list*, yang menandakan bahwa analisis berjalan dengan benar.

III.3.4. Analisis Hasil



Hasil dari komputasi yang dilakukan selama proses *transient thermal* yang berupa nilai temperatur dan hasil dari komputasi yang dilakukan selama proses *static structural* berupa nilai deformasi dan tegangan sisa, dilakukan uji konvergensi untuk mengetahui tingkat kelayakan nilai analisis yang diperoleh.

Uji konvergensi dilakukan dengan cara menambah jumlah elemen atau memperkecil ukuran *meshing*, hingga diperoleh nilai analisis dari *meshing* yang asli dan nilai analisis dari *meshing* dengan jumlah elemen yang lebih banyak diperoleh hasil yang relatif sama. Apabila nilainya masih jauh berbeda, maka *meshing* dari model perlu diperkecil ukurannya atau dipebanyak jumlah elemennya.

Jika uji konvergensi sudah dapat diterima, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis hasil. Analisis hasil dilakukan untuk melihat hasil hingga dikatakan cukup diterima sesuai dengan standar. Nantinya, kesimpulan dapat diperoleh dari data analisis hasil.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Data Hasil Pengukuran

IV.1.1. Variabel Pembebanan *Thermal*

Beban yang diterima oleh *base metal* dalam proses pengelasan adalah *heat input*. *Heat input* yang terjadi pada pengelasan dipengaruhi oleh beberapa factor yaitu arus listrik, tegangan, kecepatan pengelasan, dll. Dalam pemodelan pengelasan, *heat input* diberikan pada setiap elemen yang dilalui alur las dan berjalan sesuai dengan fungsi waktu.

Variabel-variabel pengelasan yang digunakan dalam proses perhitungan beban *heat input* yaitu:

1. Efisiensi pengelasan (η). Nilai efisiensi diambil dari tabel koefisien pengelasan SMAW yaitu 0.66 – 0.85 (lihat tabel II.1).
2. Tegangan (U). Nilai tegangan diambil dari rata-rata tegangan pengelasan dari dua specimen pengelasan.
3. Arus pengelasan (I). Besarnya arus pengelasan diambil dari rata-rata arus pengelasan dua specimen pengelasan.
4. Luas pembebanan (A). Luas pembebanan diperoleh dengan menghitung panjang dan lebar elemen yang dikenai beban.
5. *Heat input* bersih (Q). Besarnya *heat input* diperoleh dengan rumus perkalian antara tegangan dengan kuat arus yang digunakan dan dikalikan dengan efisiensi pengelasan.
6. *Heat flux* (q). Perhitungan *heat flux* yang diterima elemen pembebanan diperoleh dari rumus besarnya *heat input* yang diterima tiap layer per luasan elemen pembebanan.
7. Lama pembebanan. Kecepatan pengelasan yang digunakan menentukan lamanya beban panas yang diterima elemen material.
8. Kondisi batas. Permukaan pelat dengan udara terjadi kontak langsung sehingga diperlukan suatu koefisien konveksi yang dapat mewakili hal tersebut. Koefisien itu disebut Film Koefisien dan diatur bernilai 30 pada suhu kamar sekitar 300K. Pada analisa structural juga diberikan kondisi batas (*displacement*) pada daerah *stopper* yang bersentuhan dengan *base metal*.

IV.1.2. Perhitungan Beban

Beban yang digunakan dalam model pengelasan pelat 3D akan dibebankan pada level elemen *load* yang secara otomatis akan ditransfer menjadi *nodal load*. *Input* beban yang dimasukkan berupa *heat flux*, dimana besarnya tegangan 24 Volt dan arus 180 Ampere.

Maka, dari perhitungan pada persamaan (2.1), didapatkan nilai *heat input* adalah $Q = 3672$ Watt. Setelah diketahui besarnya *heat input* efektif yang dihasilkan dari busur las, maka besarnya *heat flux* yang dipakai dalam perhitungan FEM yaitu :

$$q_1 = q_e \frac{A_1}{A_f} \quad \text{dan} \quad q_e = \frac{Q}{A_e}$$

Dimana :

q_1 = *Heat flux* pada elemen (Watt/mm²)

Q = *Heat flux* yang dihasilkan electrode (Watt)

A_1 = Luasan permukaan yang dikenai *heat flux* (mm²)

A_f = Luasan *flux* yang dihasilkan elektroda (mm²)

A_e = Luasan elektroda yang mengenai material (mm²)

Berdasarkan perhitungan beban *thermal* pada model didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel IV.1 Perhitungan Beban *Heat Flux*

Q	$\eta \times U \times I$	Watt
	3672	
Af	$b \times v \times t$	mm ²
	208	
Ae	$1/4 \times \pi \times D^2$	mm ²
	5.3066	
A1	$P \times L$	mm ²
	128	
Qe	Q / Ae	Watt/mm ²
	691.968	
q1	$q_e \times (A_1/A_f)$	Watt/mm ²
	42.583	

Dengan demikian telah diketahui besarnya beban *heat flux* yang dikenakan pada setiap elemen yang dilalui alur las pada model. Beban ini dikenakan secara *transient* atau berjalan sesuai dengan fungsi waktu.

Selain beban *heat flux* ada juga kondisi batas yang harus dimasukkan ke dalam pembebanan model. Kondisi batas ini merupakan kenyataan bahwa antara permukaan pelat dengan udara mengalami kontak langsung sehingga harus dimasukkan koefisien yang digunakan untuk memasukkan factor konveksi dalam pemodelan. Koefisien yang harus dimasukkan yaitu :

$$\text{Film Koefisien} = 30 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$\text{Bulk Temperature} = 300 \text{ K}$$

Film koefisien merupakan koefisien factor konveksi yang terjadi antara logam yang dipanaskan dengan udara. Sedangkan *bulk temperature* adalah temperature ruang yang terjadi pada saat pengelasan dilakukan. Temperature ruang diasumsikan sebesar $26,85^{\circ}\text{C}$ atau sebesar 300 Kelvin.

IV.1.3. Uji Konvergensi

Konvergensi merupakan suatu cara yang digunakan untuk melakukan pemilihan ukuran elemen yang tepat dalam pembuatan model elemen hingga sehingga model dapat menghasilkan nilai yang valid. Data yang digunakan acuan dalam melakukan uji konvergensi yaitu temperatur, tegangan sisa dan deformasi. Deformasi yang didapatkan berupa deformasi terhadap arah sumbu x, y, dan z. Sumbu x mewakili arah sejajar alur las, sumbu y mewakili arah melintang alur las dan sumbu z mewakili arah vertikal alur las.

Dalam melakukan uji konvergensi, komponen yang paling utama adalah *meshing*. Ada keterbatasan metode yang sering diabaikan atau tidak mendapat perhatian yang memadai. Keterbatasan yang dimaksud dalam hal ini adalah *discretization error*. *Discretization error* merupakan *error* yang diakibatkan kurangnya jumlah elemen yang digunakan untuk merepresentasikan komponen yang dianalisis. Akurasi solusi elemen hingga akan semakin meningkat dengan semakin banyaknya jumlah elemen yang digunakan, tapi waktu yang digunakan untuk komputasi juga semakin banyak. Konvergensi dilakukan dengan melakukan perbandingan dari beberapa ukuran dan jumlah elemen *meshing* pada satu model. Apabila nilai dari data-data tersebut tiap ukuran dan jumlah elemen sudah tidak menunjukkan perbedaan persentase yang cukup signifikan ($< 2\%$) maka model tersebut sudah dinyatakan valid dan dapat dijadikan acuan dalam pembuatan variasi model lainnya.

Uji Konvergensi ini dilakukan dengan kondisi batas deformasi dihitung pada daerah ujung pelat, sedangkan pada pelat “U” diberikan tumpuan jepit. Adapun hasil dari deformasi dan tegangan sisa dari uji konvergensi dapat dilihat pada tabel IV.2 dan tabel IV.3:

Tabel IV.2 Hasil Uji Konvergensi

Ukuran Meshing	Jumlah Elemen	Temperatur	Deformasi Arah Sb X	Deformasi Arah Sb Y	Deformasi Arah Sb Z	Tegangan Sisa
		(⁰ C)	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)
100	40845	1300.8	0.10410	0.10159	0.93751	78.704
90	43565	1300.0	0.10231	0.10007	0.91727	80.446
80	46630	1299.2	0.10104	0.09848	0.90276	78.946
70	53276	1299.8	0.10258	0.09885	0.91607	77.374
60	61503	1300.1	0.10401	0.09914	0.90398	76.016
50	71452	1299.5	0.10499	0.09878	0.8914	74.574
40	83797	1299.2	0.10410	0.09868	0.89777	73.656

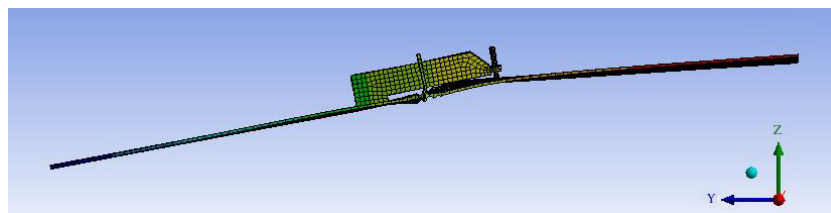
Tabel IV.3 Presentasi Perbandingan Uji Konvergensi

Ukuran Meshing	Temperatur	Deformasi Arah Sb X	Deformasi Arah Sb Y	Deformasi Arah Sb Z	Tegangan Sisa
	%	%	%	%	%
100 – 90	0.062	1.718	1.499	2.207	2.153
90 – 80	0.062	1.241	1.589	1.582	1.864
80 – 70	0.046	1.498	0.373	1.453	1.991
70 – 60	0.023	1.368	0.293	1.320	1.755
60 – 50	0.046	0.943	0.362	1.392	1.897
50 – 40	0.023	0.848	0.101	0.710	1.231

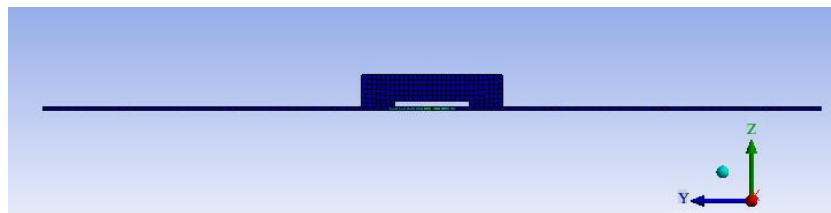
IV.2. Pembahasan

IV.2.1. Koreksi Deformasi dan Variasi Tanpa *Stopper*

Dari hasil komputasi didapatkan bahwa pada *stopper* model baut, deformasi memiliki nilai terbesar pada bagian ujung pelat terhadap arah negatif sumbu Z (vertikal dari arah alur las) seperti pada gambar IV.1, sedangkan pada stopper konvensional, deformasi berada disekitar alur las seperti pada gambar IV.2. Pada proses pengerjaan di lapangan, arah negatif sumbu Z merupakan alas berupa tanah atau mistar, sehingga deformasi tidak mungkin terjadi pada arah sumbu negatif Z. Maka, hasil komputasi pada *stopper* model baut perlu dilakukan koreksi, sehingga didapatkan nilai deformasi terbesar berada disekitar alur las.



Gambar IV.1 Deformasi *Stopper* Model Baut dari Arah Sumbu X



Gambar IV.2 Deformasi *Stopper* Konvensional dari Arah Sumbu X

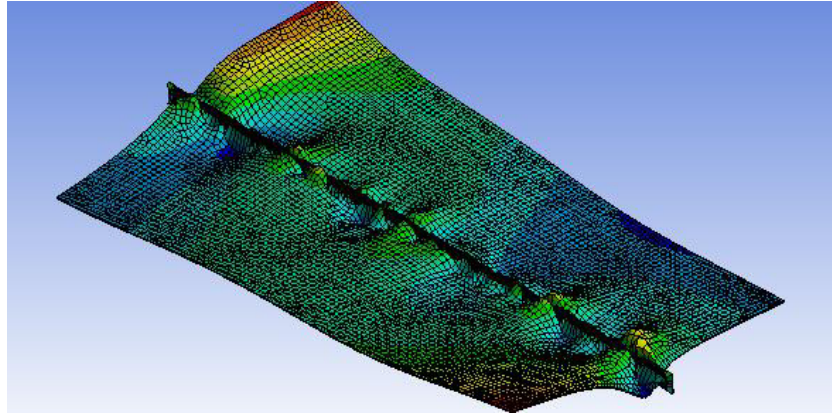
Koreksi deformasi dilakukan dengan cara menentukan titik-titik koordinat pada model (dilihat dari arah sumbu X) dari bidang warna hasil komputasi, dimana masing-masing warna menunjukkan skala besarnya deformasi yang terjadi pada pelat. Koordinat X diukur dari ujung pelat memanjang sejajar alur las, Koordinat Y diukur dari alur las melintang kearah positif dan negatif menuju tepi pelat, dan koordinat Z diukur dari alas pelat vertikal kearah tinggi pelat. Ketika melakukan koreksi deformasi, diasumsikan bahwa garis horizontal merupakan panjang pelat berdasarkan banyaknya elemen pada satu skala deformasi dikali panjang elemen, sedangkan arah vertikal merupakan besarnya deformasi dari sumbu netral.

Hasil dari titik-titik koordinat yang diperoleh dari model, disambung dengan garis polinomial, sehingga didapatkan grafik polinomial beserta fungsi grafiknya. Selanjutnya, fungsi tersebut yang digunakan untuk menentukan besar deformasi yang sebenarnya.

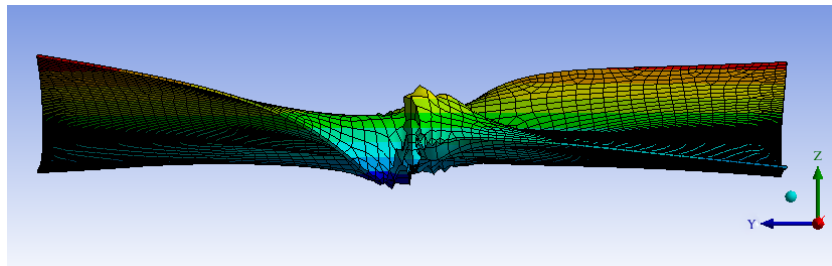
Salah satu tujuan penggunaan *stopper* pada pengelasan adalah untuk mengurangi besarnya deformasi, namun pemasangan stopper yang terlalu banyak dapat menimbulkan

tegangan sisa yang besar. Untuk itu, sebelum dilakukan pemodelan menggunakan *stopper*, perlu dilakukan pemodelan tanpa menggunakan stopper untuk menentukan besarnya nilai deformasi dan tegangan sisa awal.

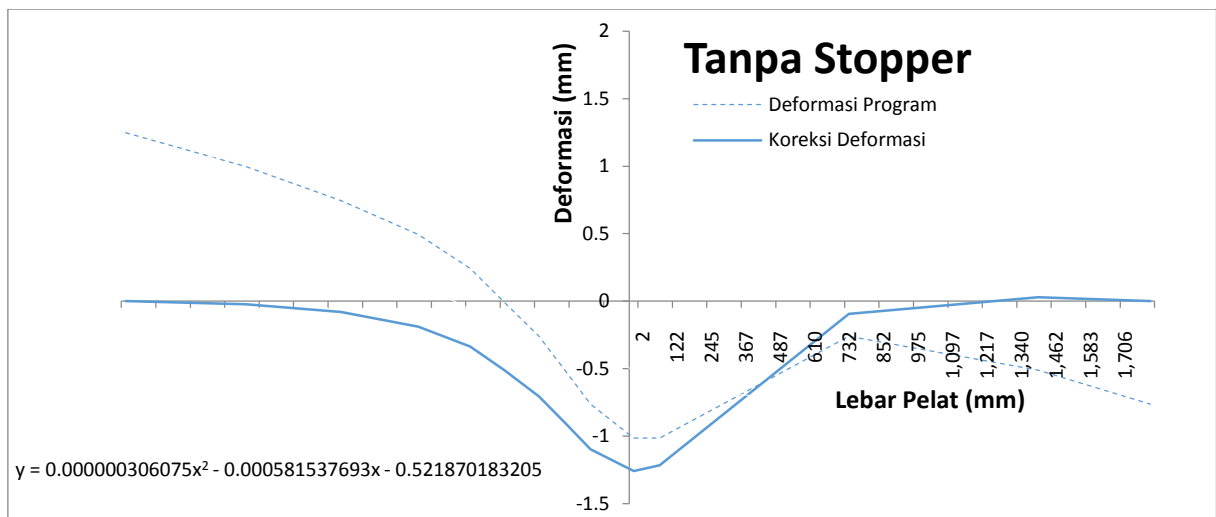
Pada pemodelan tanpa menggunakan *stopper* didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar IV.3 Deformasi Pada Variasi Model Tanpa *Stopper*



Gambar IV.4 Deformasi dari Arah Sumbu X (Tanpa *Stopper*)

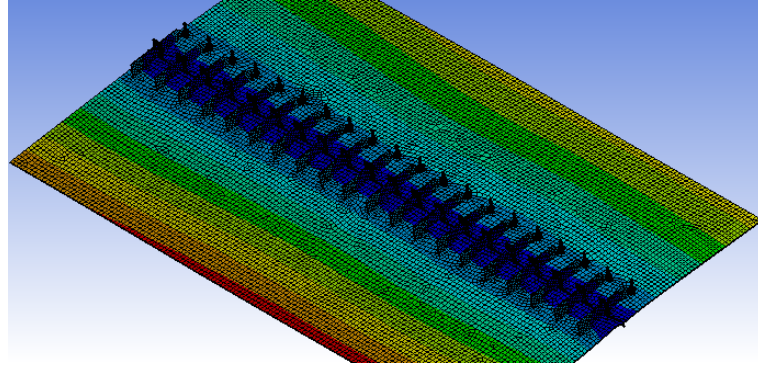


Gambar IV.5 Grafik Deformasi (Tanpa *Stopper*)

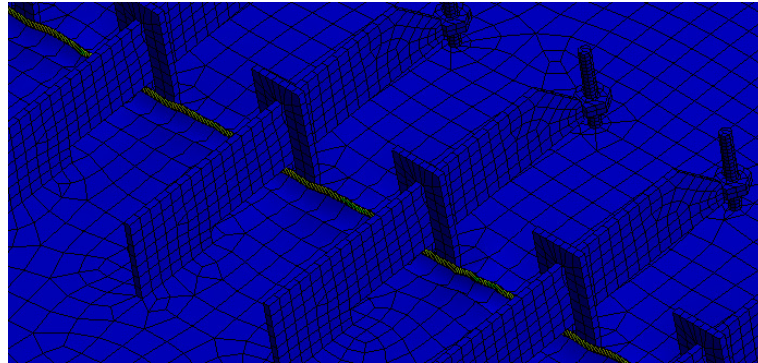
Setelah dilakukan koreksi, didapatkan besar deformasi pada arah sumbu Z pada model tanpa *stopper* adalah 1.2579 mm, sedangkan nilai tegangan sisanya adalah 49.043 MPa.

IV.2.2. Variasi Ukuran Baut Pada *Stopper* Model Baut

Baut yang divariasikan adalah baut dengan ukuran M20, M24 dan M27. Nilai deformasi dan tegangan sisa yang diperoleh adalah:



Gambar IV.6 Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 20

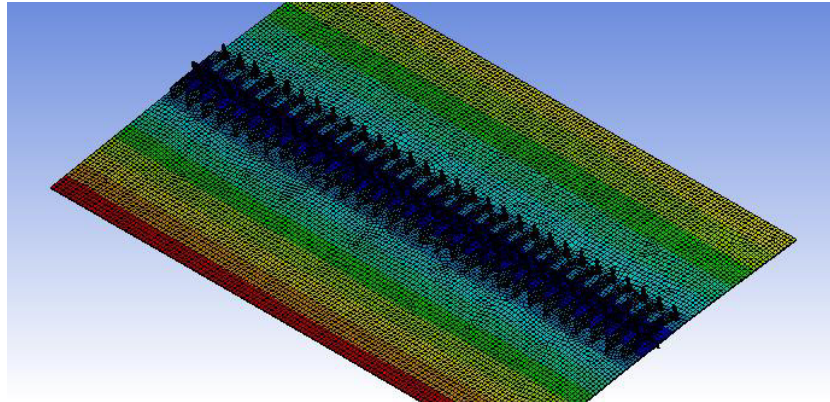


Gambar IV.7 Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 20

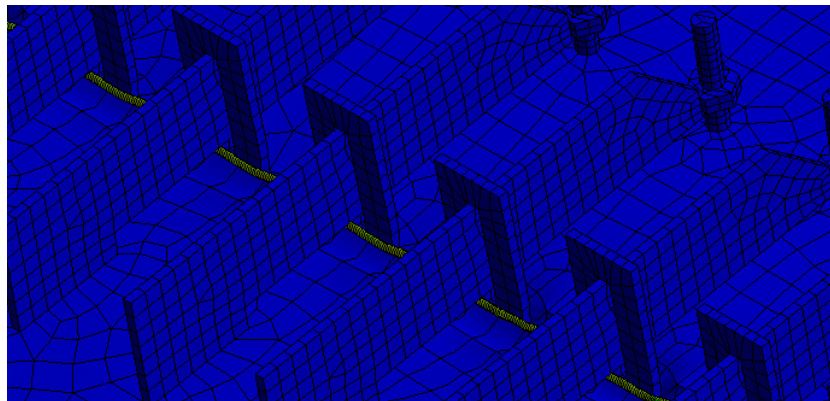
Tabel IV.4 Hasil Pada Variasi Jarak 200 mm dan Tebal 12 mm

Ukuran Baut	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
M 20	1336	61.87	0.3557	79.366
M 24	1987	42.84	0.3482	79.260
M 27	3952	76.68	0.3146	75.444

Berdasarkan tabel IV.4, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi baut M 20 sebesar 0.3557 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 1336 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 42.84 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi baut M 20 sebesar 79.366 MPa.



Gambar IV.8 Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 27

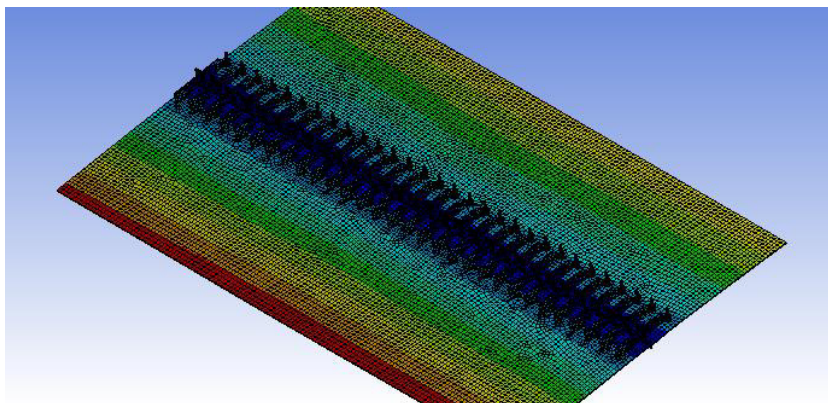


Gambar IV.9 Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27

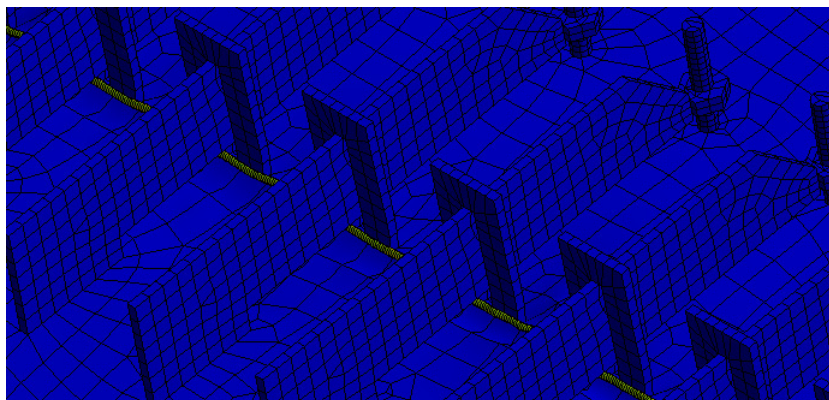
Tabel IV.5 Hasil Pada Variasi Jarak 200 mm dan Tebal 14 mm

Ukuran Baut	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
M 20	3732	34.13	0.2996	79.824
M 24	3583	21.88	0.2669	79.298
M 27	4740	0.87	0.2950	78.918

Berdasarkan tabel IV.5, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi baut M 20 sebesar 0.2996 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 3732 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 34.13 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi baut M 20 sebesar 79.824 MPa.



Gambar IV.10 Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 24

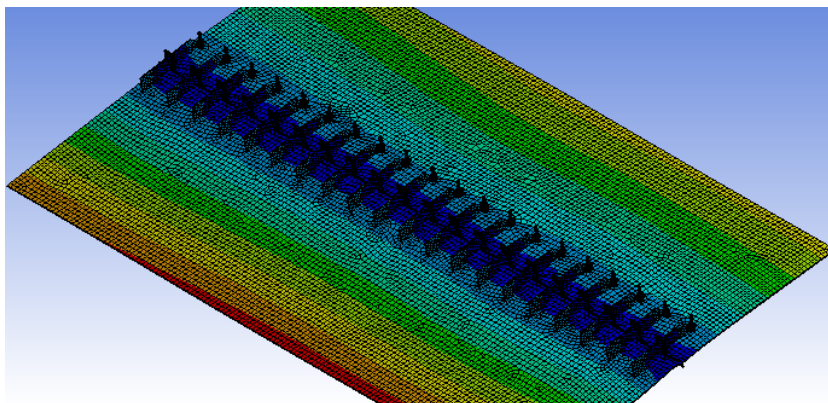


Gambar IV.11 Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 24

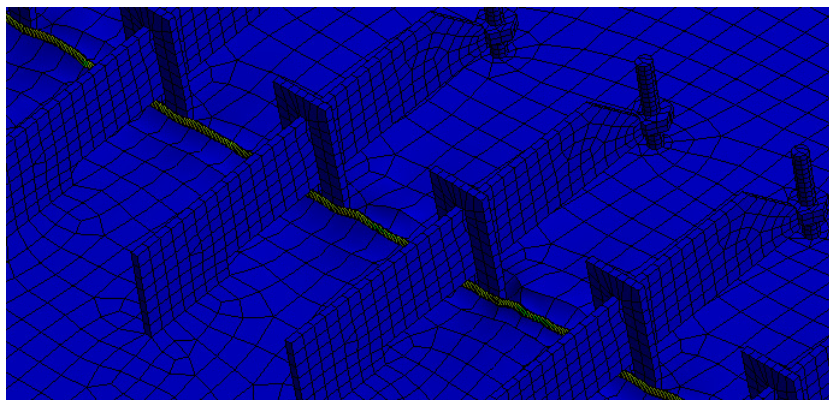
Tabel IV.6 Hasil Pada Variasi Jarak 200 mm dan Tebal 16 mm

Ukuran Baut	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
M 20	982	9.57	0.2644	80.648
M 24	4013	51.19	0.2634	81.218
M 27	3691	63.57	0.2447	79.344

Berdasarkan tabel IV.6, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi baut M 20 sebesar 0.2644 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 982 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 9.57 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi baut M 24 sebesar 81.218 MPa.



Gambar IV.12 Deformasi Jarak 300 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 24

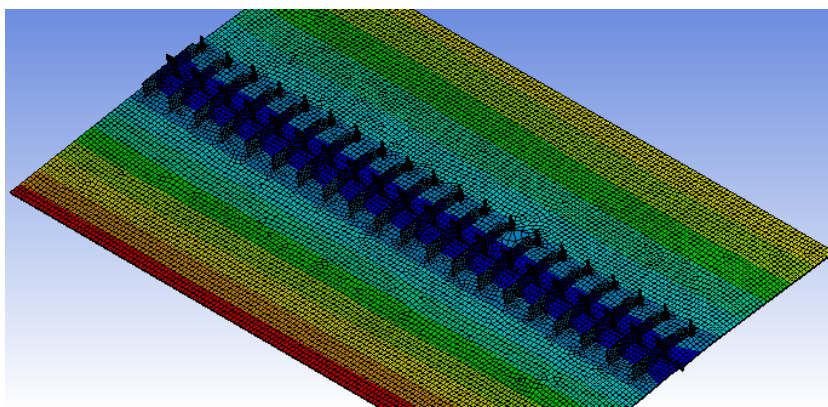


Gambar IV.13 Tegangan Sisa Jarak 300 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M24

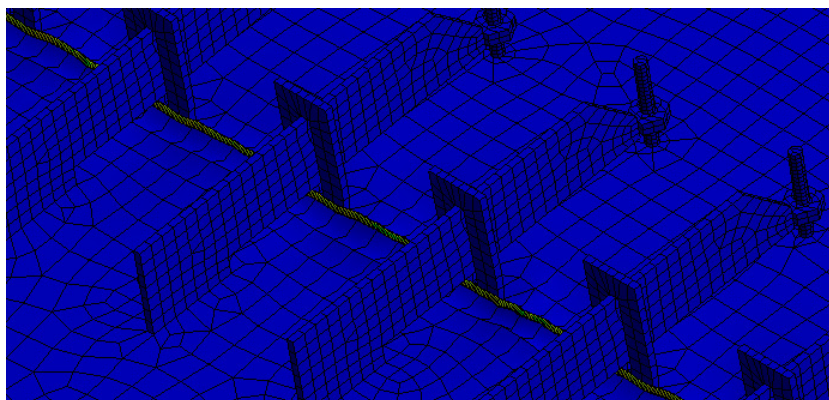
Tabel IV.7 Hasil Pada Variasi Jarak 300 mm dan Tebal 12 mm

Ukuran Baut	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
M 20	836	75.98	0.3575	76.994
M 24	1966	36.19	0.3599	77.022
M 27	1758	38.10	0.3415	73.536

Berdasarkan tabel IV.7, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi baut M 24 sebesar 0.3599 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 1966 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 36.19 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi baut M 24 sebesar 77.022 MPa.



Gambar IV.14 Deformasi Jarak 300 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20

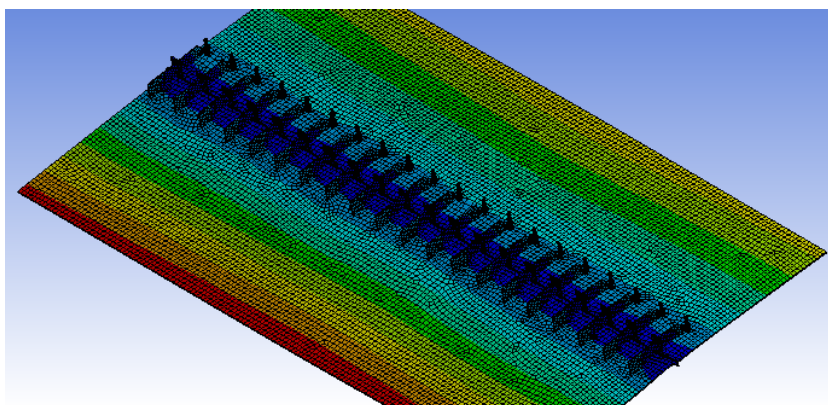


Gambar IV.15 Tegangan Sisa Jarak 300 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20

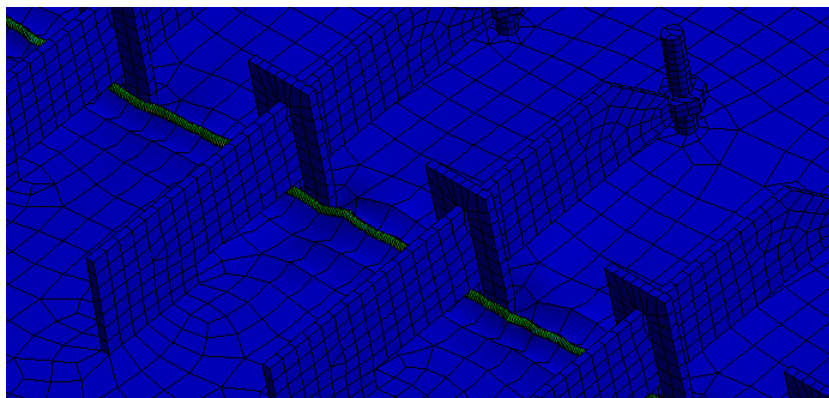
Tabel IV.8 Hasil Pada Variasi Jarak 300 mm dan Tebal 14 mm

Ukuran Baut	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
M 20	5280	60.61	0.3083	79.656
M 24	4086	82.71	0.3155	78.946
M 27	1633	35.97	0.2973	76.836

Berdasarkan tabel IV.8, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi baut M 20 sebesar 0.3083 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 5280 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 60.61 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi baut M 20 sebesar 79.656 MPa.



Gambar IV.16 Deformasi Jarak 300 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 27

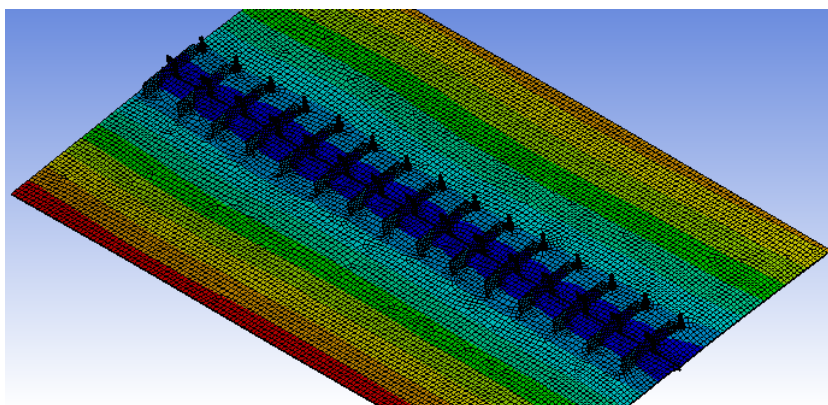


Gambar IV.17 Tegangan Sisa Jarak 300 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 27

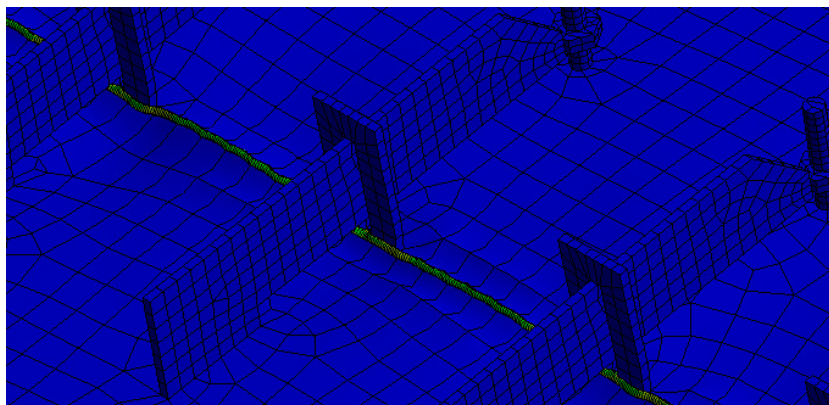
Tabel IV.9 Hasil Pada Variasi Jarak 300 mm dan Tebal 16 mm

Ukuran Baut	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
M 20	2485	32.22	0.2741	79.970
M 24	4856	13.34	0.2736	79.594
M 27	2745	94.18	0.2448	78.386

Berdasarkan tabel IV.9, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi baut M 20 sebesar 0.2741 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 2485 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 32.22 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi baut M 20 sebesar 79.970 MPa.



Gambar IV.18 Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27

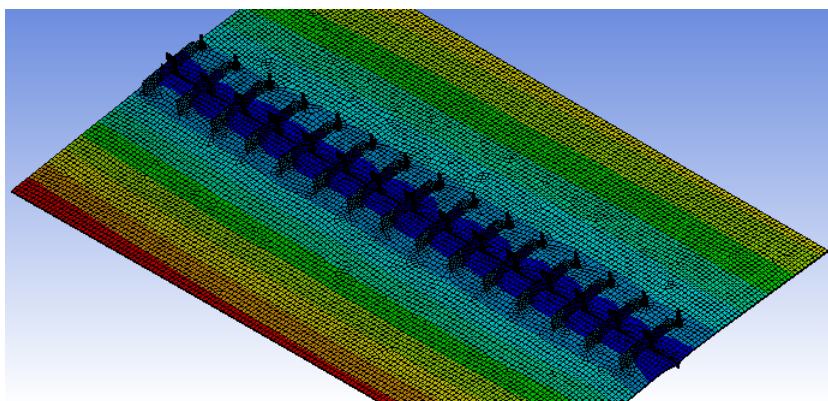


Gambar IV.19 Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27

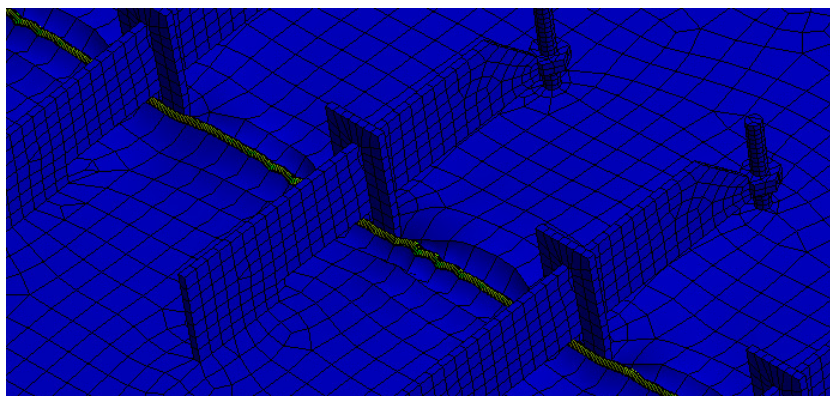
Tabel IV.10 Hasil Pada Variasi Jarak 400 mm dan Tebal 12 mm

Ukuran Baut	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
M 20	5318	64.49	0.4472	72.282
M 24	1739	47.02	0.4171	71.310
M 27	1607	47.98	0.3812	72.356

Berdasarkan tabel IV.10, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi baut M 20 sebesar 0.4472 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 5318 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 64.49 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi baut M 27 sebesar 72.356 MPa.



Gambar IV.20 Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24

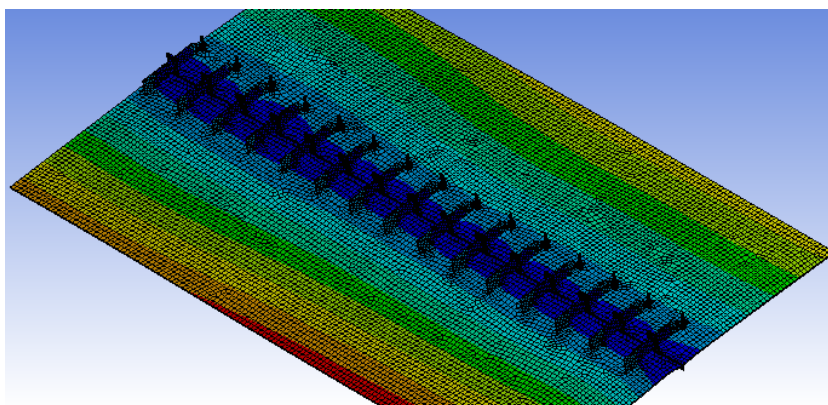


Gambar IV.21 Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24

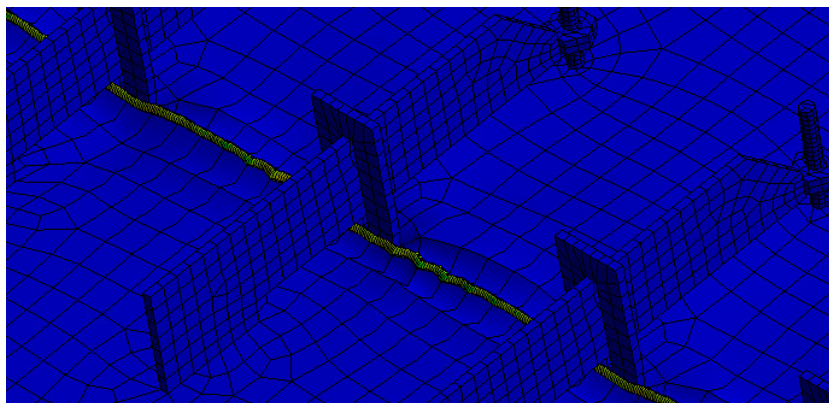
Tabel IV.11 Hasil Pada Variasi Jarak 400 mm dan Tebal 14 mm

Ukuran Baut	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
M 20	1874	56.95	0.4169	72.416
M 24	782	40.74	0.3674	72.864
M 27	2904	14.62	0.3446	72.384

Berdasarkan tabel IV.11, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi baut M 20 sebesar 0.4169 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 1874 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 56.95 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi baut M 24 sebesar 72.864 MPa.



Gambar IV.22 Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 20



Gambar IV.23 Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 20

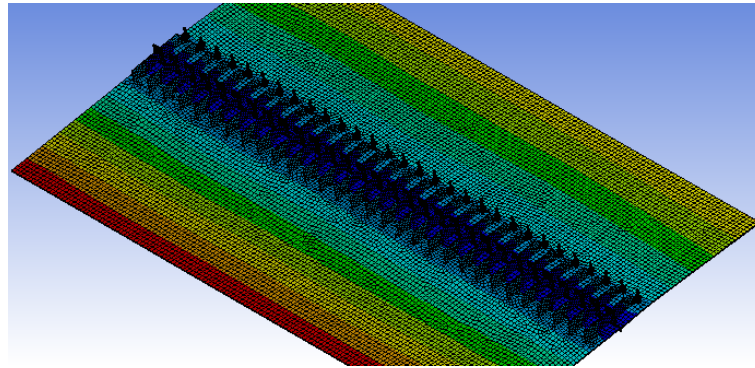
Tabel IV.12 Hasil Pada Variasi Jarak 400 mm dan Tebal 16 mm

Ukuran Baut	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
M 20	1150	101.00	0.3778	73.238
M 24	1124	34.48	0.3438	73.764
M 27	5109	28.06	0.2989	74.466

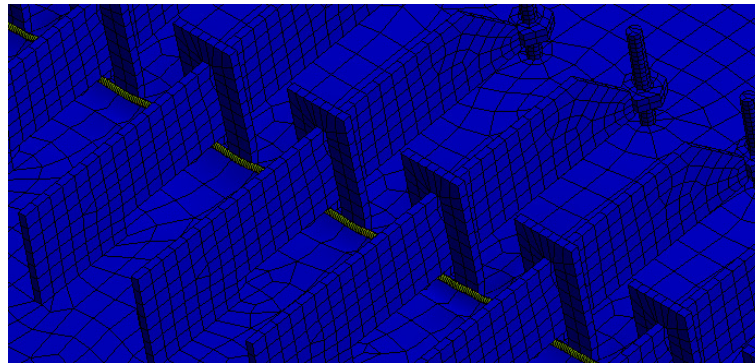
Berdasarkan tabel IV.12, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi baut M 20 sebesar 0.3778 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 1150 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 101.00 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi baut M 27 sebesar 74.466 MPa.

IV.2.3. Variasi Tebal Pada *Stopper* Model Baut

Tebal *stopper* yang divariasikan, menggunakan ukuran 12 mm, 14 mm dan 16 mm. Nilai deformasi dan tegangan sisa yang diperoleh adalah:



Gambar IV.24 Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20

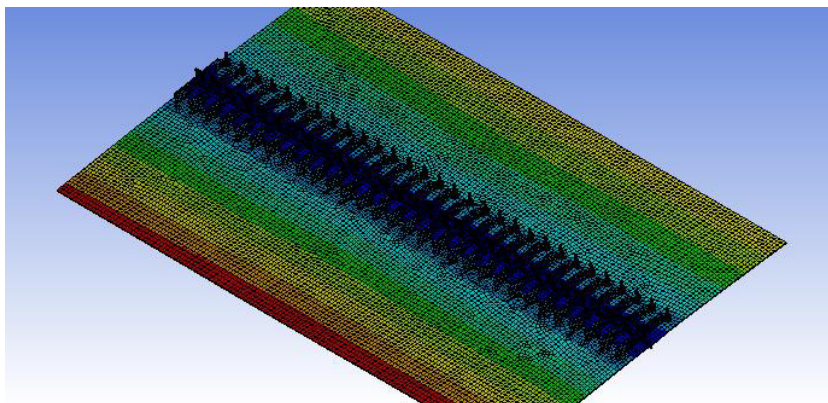


Gambar IV.25 Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20

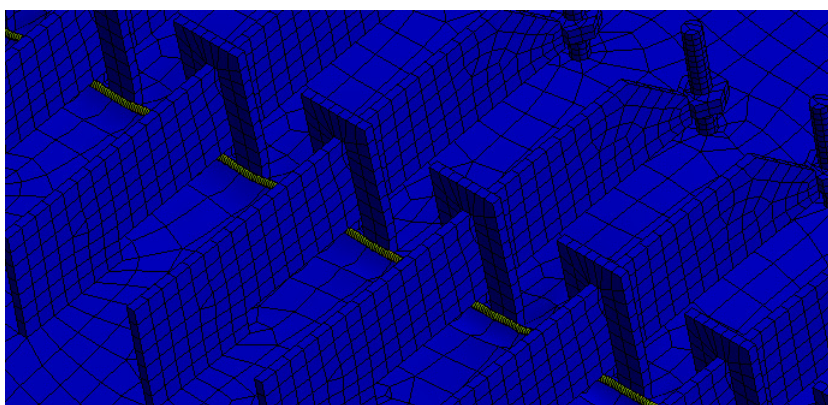
Tabel IV.13 Hasil Pada Variasi Jarak 200 mm dan Ukuran Baut M 20

Tebal Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
12 mm	1336	61.87	0.3557	74.366
14 mm	3732	34.13	0.2996	79.824
16 mm	982	9.57	0.2644	80.648

Berdasarkan tabel IV.13, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi tebal 12 mm sebesar 0.3557 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 1336 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 61.87 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi tebal 16 mm sebesar 80.648 MPa.



Gambar IV.26 Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24

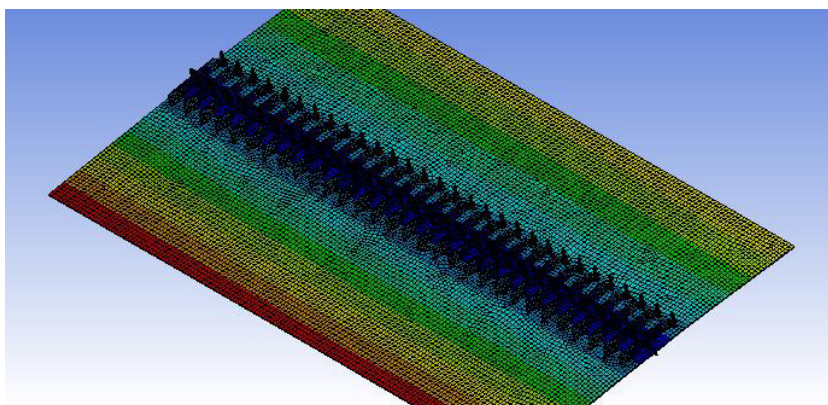


Gambar IV.27 Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24

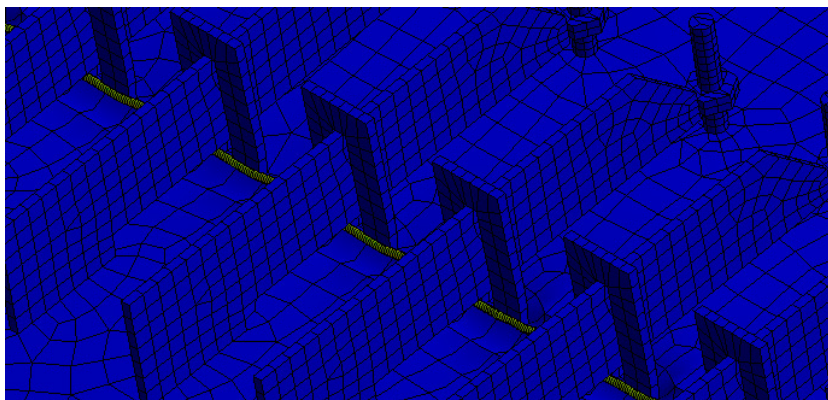
Tabel IV.14 Hasil Pada Variasi Jarak 200 mm dan Ukuran Baut M 24

Tebal Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
12 mm	1987	42.84	0.3482	79.260
14 mm	3583	21.88	0.2669	79.298
16 mm	4013	51.19	0.2634	81.218

Berdasarkan tabel IV.14, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi tebal 12 mm sebesar 0.3482 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 1987 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 42.84 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi tebal 16 mm sebesar 81.218 MPa.



Gambar IV.28 Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27

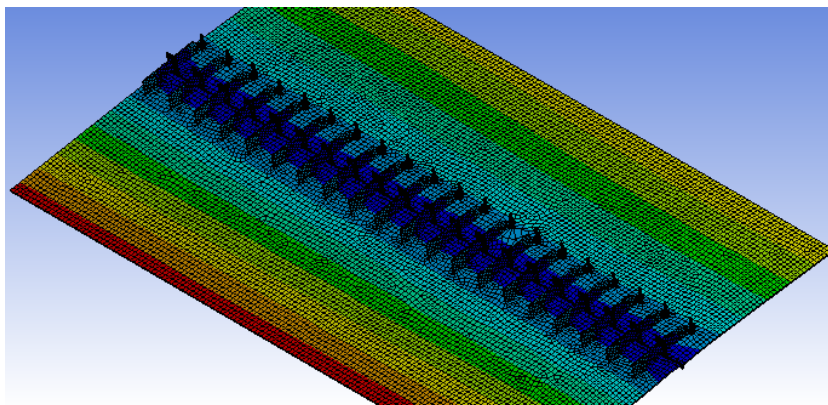


Gambar IV.29 Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27

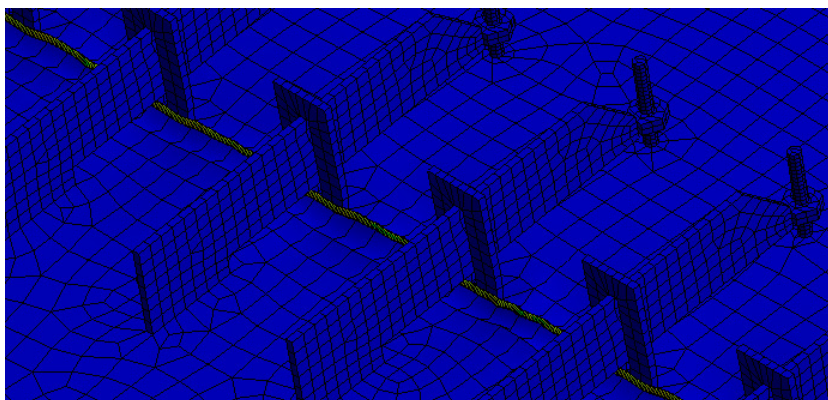
Tabel IV.15 Hasil Pada Variasi Jarak 200 mm dan Ukuran Baut M 27

Tebal Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
12 mm	3952	76.68	0.3146	75.444
14 mm	4740	0.87	0.2950	78.918
16 mm	3691	63.57	0.2447	79.344

Berdasarkan tabel IV.15, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi tebal 12 mm sebesar 0.3146 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 3952 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 76.68 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi tebal 16 mm sebesar 79.344 MPa.



Gambar IV.30 Deformasi Jarak 300 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 20

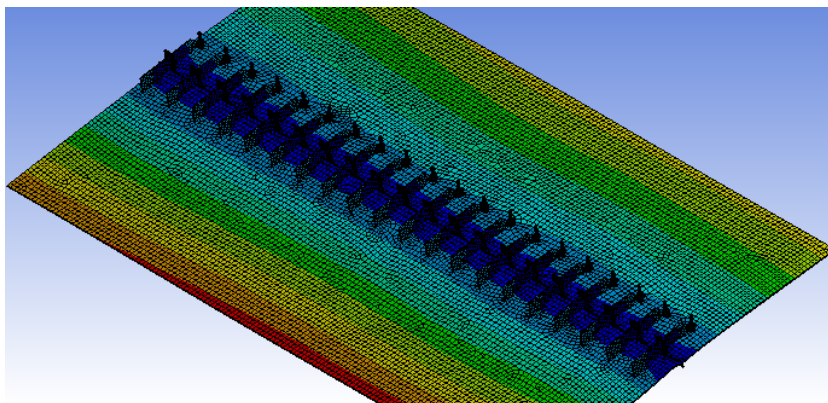


Gambar IV.31 Tegangan Sisa Jarak 300 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 20

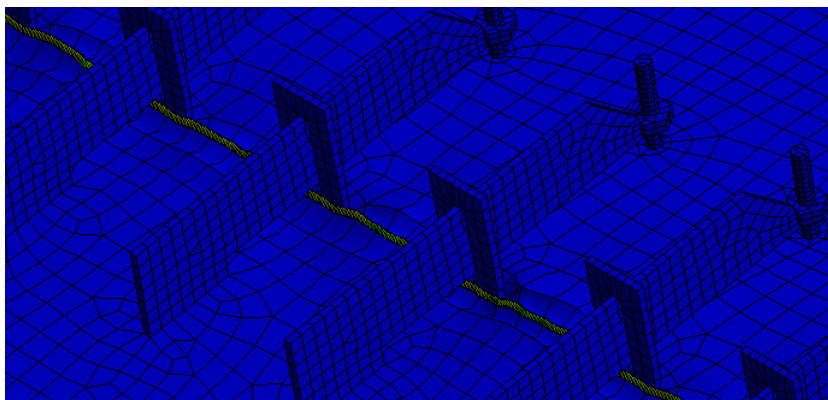
Tabel IV.16 Hasil Pada Variasi Jarak 300 mm dan Ukuran Baut M 20

Tebal Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
12 mm	836	75.98	0.3575	76.994
14 mm	5280	60.61	0.3083	79.656
16 mm	2485	32.22	0.2741	79.970

Berdasarkan tabel IV.16, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi tebal 12 mm sebesar 0.3575 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 836 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 75.98 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi tebal 16 mm sebesar 79.970 MPa.



Gambar IV.32 Deformasi Jarak 300 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24

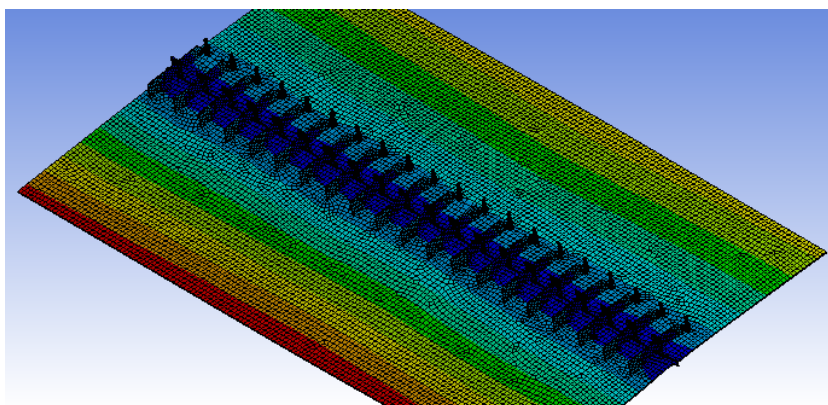


Gambar IV.33 Tegangan Sisa Jarak 300 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24

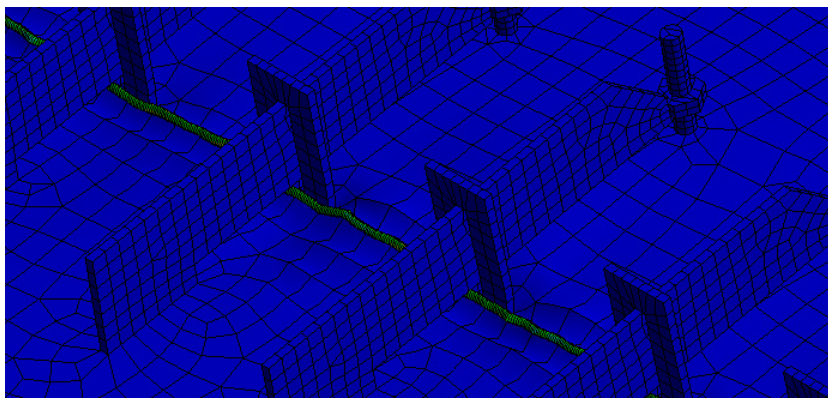
Tabel IV.17 Hasil Pada Variasi Jarak 300 mm dan Ukuran Baut M 24

Tebal Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
12 mm	1966	36.19	0.3599	77.022
14 mm	4086	82.71	0.3155	78.946
16 mm	4856	13.34	0.2736	79.594

Berdasarkan tabel IV.17, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi tebal 12 mm sebesar 0.3599 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 1966 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 36.19 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi tebal 16 mm sebesar 79.594 MPa.



Gambar IV.34 Deformasi Jarak 300 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27

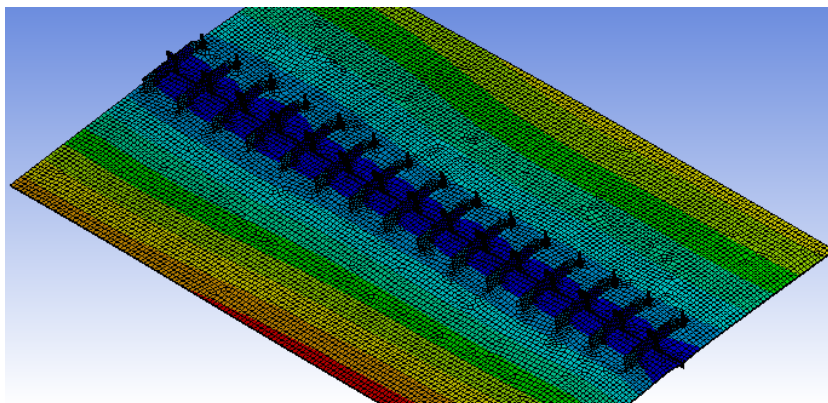


Gambar IV.35 Tegangan Sisa Jarak 300 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27

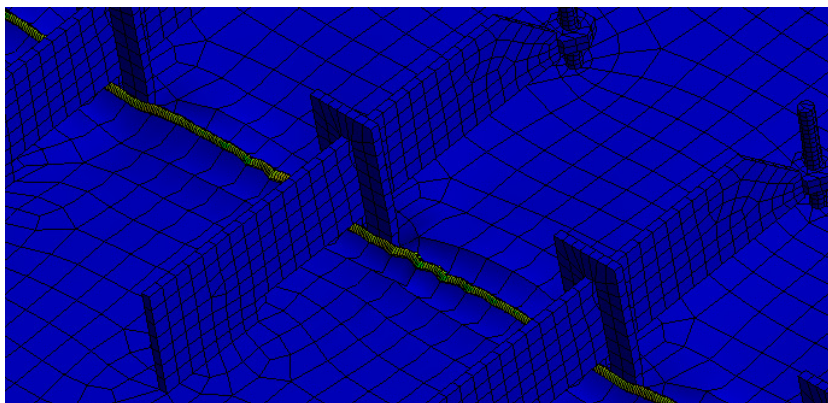
Tabel IV.18 Hasil Pada Variasi Jarak 300 mm dan Ukuran Baut M 27

Tebal Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
12 mm	1758	38.10	0.3415	73.536
14 mm	1633	35.97	0.2973	76.836
16 mm	2745	94.18	0.2448	78.386

Berdasarkan tabel IV.18, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi tebal 12 mm sebesar 0.3415 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 1758 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 38.10 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi tebal 16 mm sebesar 78.386 MPa.



Gambar IV.36 Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20

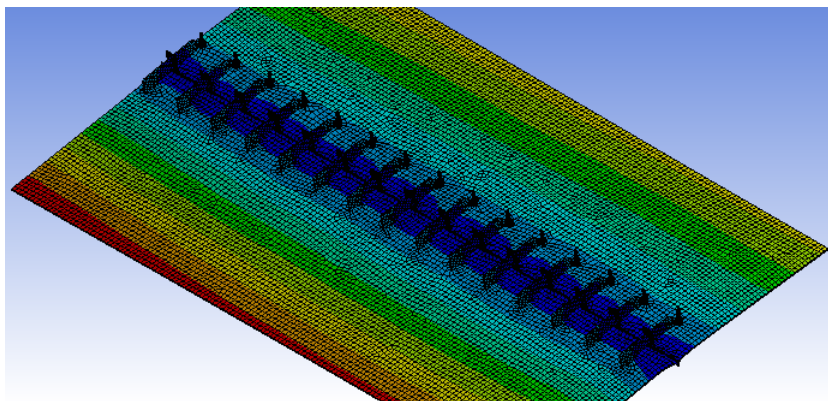


Gambar IV.37 Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20

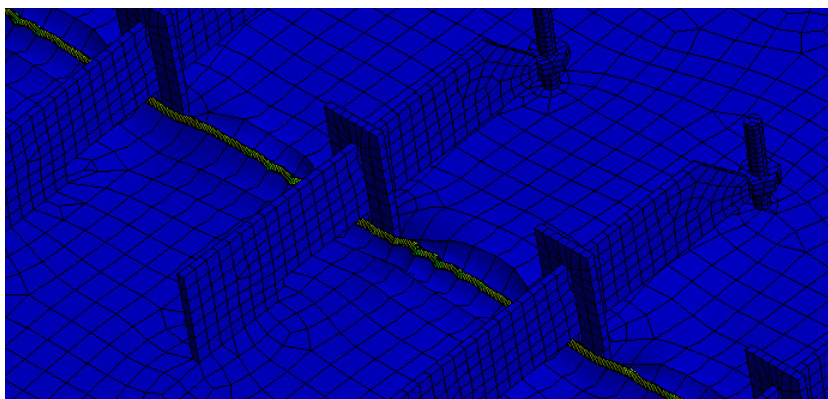
Tabel IV.19 Hasil Pada Variasi Jarak 400 mm dan Ukuran Baut M 20

Tebal Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
12 mm	5318	64.49	0.4472	72.282
14 mm	1874	56.95	0.4169	72.416
16 mm	1150	101.00	0.3778	73.238

Berdasarkan tabel IV.19, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi tebal 12 mm sebesar 0.4472 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 5318 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 64.49 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi tebal 16 mm sebesar 73.238 MPa.



Gambar IV.38 Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 24

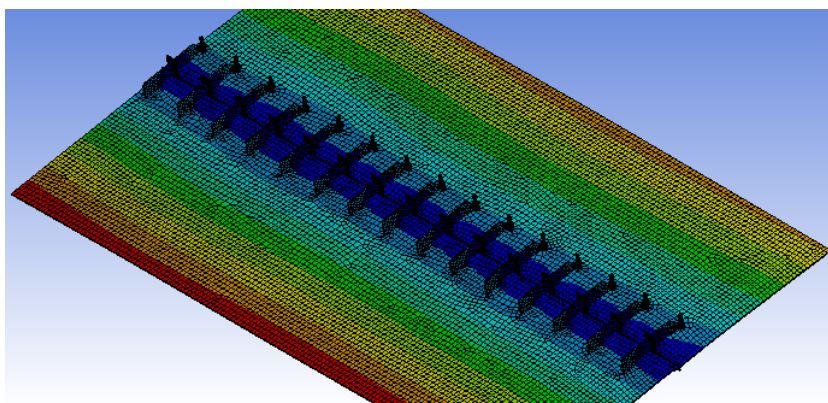


Gambar IV.39 Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20

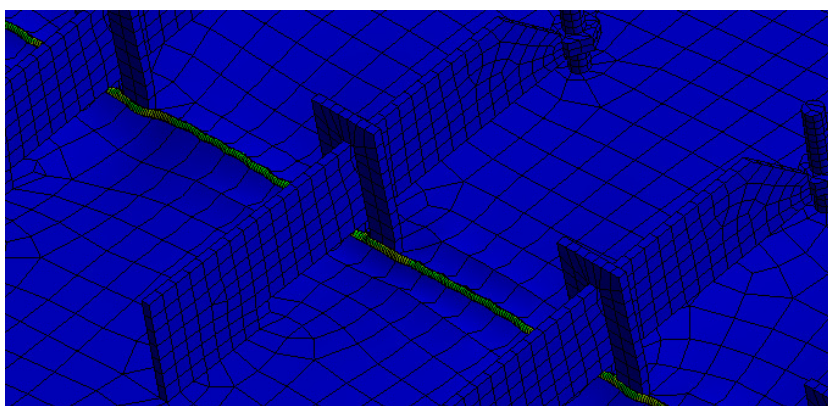
Tabel IV.20 Hasil Pada Variasi Jarak 400 mm dan Ukuran Baut M 24

Tebal Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
12 mm	1739	47.02	0.4171	71.310
14 mm	782	40.74	0.3674	72.864
16 mm	1124	34.48	0.3438	73.764

Berdasarkan tabel IV.20, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi tebal 12 mm sebesar 0.4171 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 1739 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 47.02 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi tebal 16 mm sebesar 73.764 MPa.



Gambar IV.40 Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 27



Gambar IV.41 Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 27

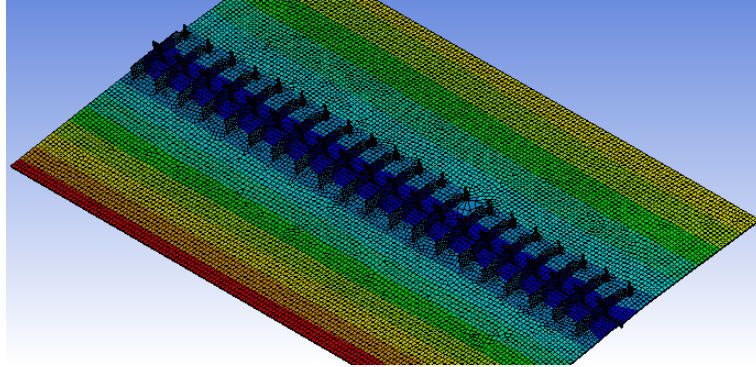
Tabel IV.21 Hasil Pada Variasi Jarak 400 mm dan Ukuran Baut M 27

Tebal Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
12 mm	1607	47.98	0.3812	72.356
14 mm	2904	14.62	0.3446	72.384
16 mm	5109	28.06	0.2989	74.466

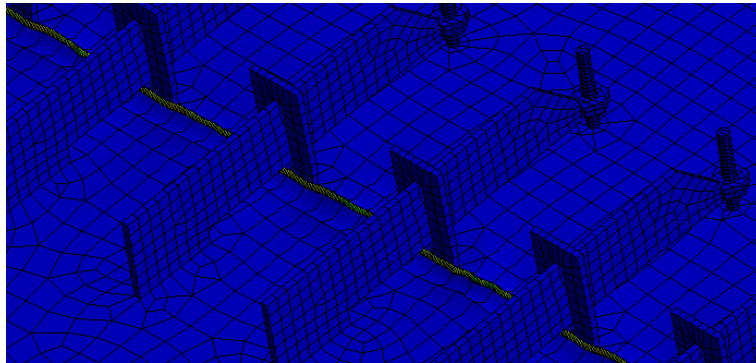
Berdasarkan tabel IV.21, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi tebal 12 mm sebesar 0.3812 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 1607 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 47.98 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi tebal 16 mm sebesar 74.466 MPa.

IV.2.4. Variasi Jarak Pada *Stopper* Model Baut

Jarak *stopper* yang divariasikan, menggunakan ukuran 200 mm, 300 mm dan 400 mm. Nilai deformasi dan tegangan sisa yang diperoleh adalah:



Gambar IV.42 Deformasi Jarak 300 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 20



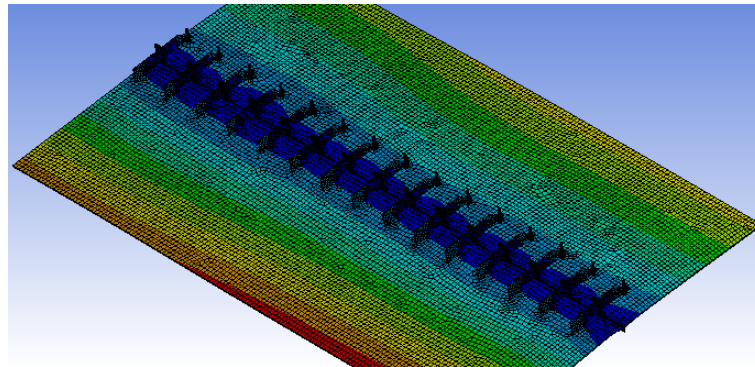
Gambar IV.43 Tegangan Sisa Jarak 300 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 20

Tabel IV.22 Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 20 dan Tebal 12 mm

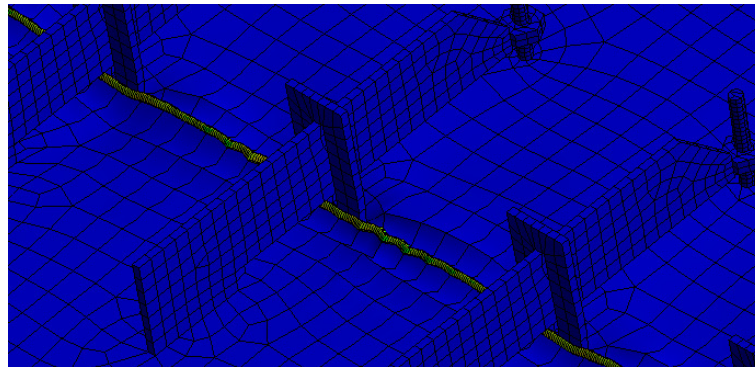
Jarak Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
200 mm	1336	61.87	0.3557	79.366
300 mm	836	75.98	0.3575	76.994
400 mm	5318	64.49	0.4472	72.282

Berdasarkan tabel IV.22, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi jarak 400 mm sebesar 0.4472 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 5318 mm pada sumbu X dan berada pada titik

koordinat 64.49 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi jarak 200 mm sebesar 79.366 MPa.



Gambar IV.44 Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20

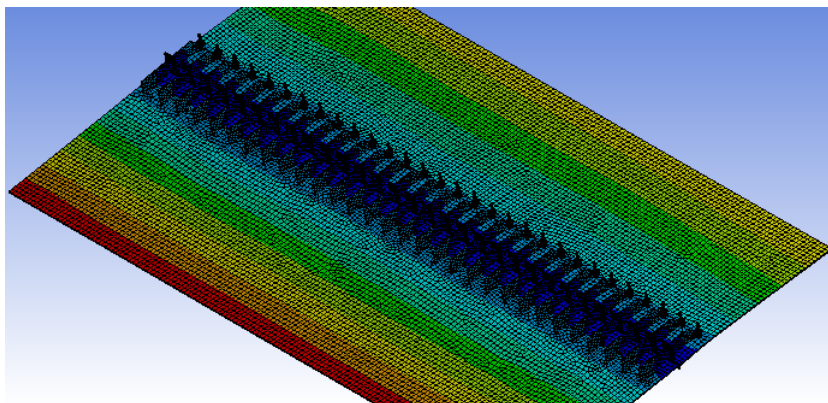


Gambar IV.45 Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20

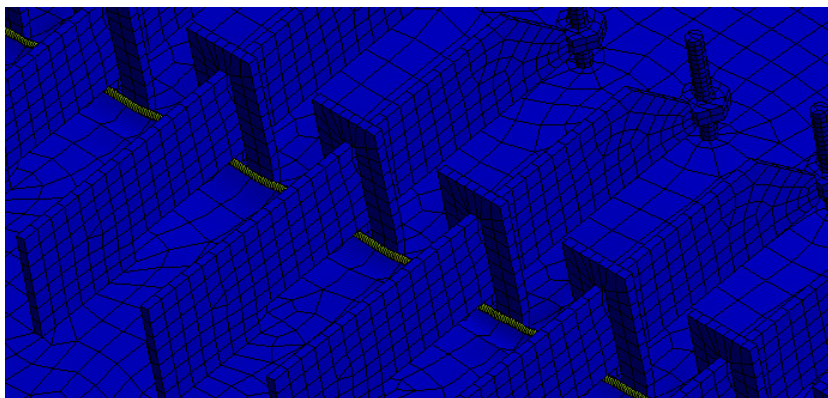
Tabel IV.23 Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 20 dan Tebal 14 mm

Jarak Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
200 mm	3732	34.13	0.2996	79.824
300 mm	5280	60.61	0.3083	79.656
400 mm	1874	56.95	0.4169	72.416

Berdasarkan tabel IV.23, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi jarak 400 mm sebesar 0.4169 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 1874 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 56.95 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi jarak 200 mm sebesar 79.824 MPa.



Gambar IV.46 Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 20

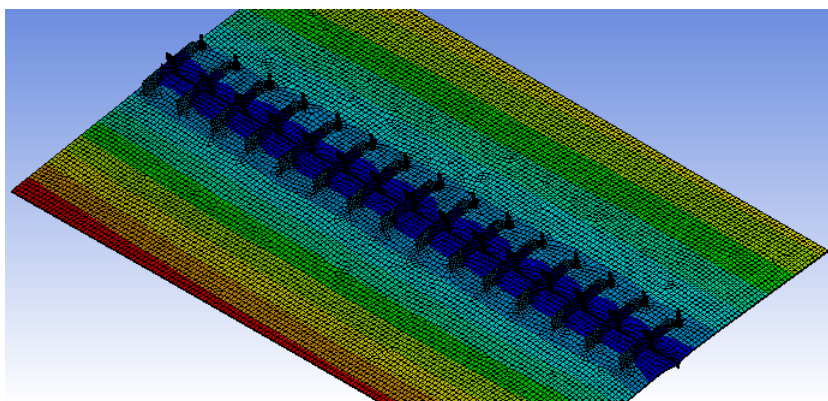


Gambar IV.47 Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 20

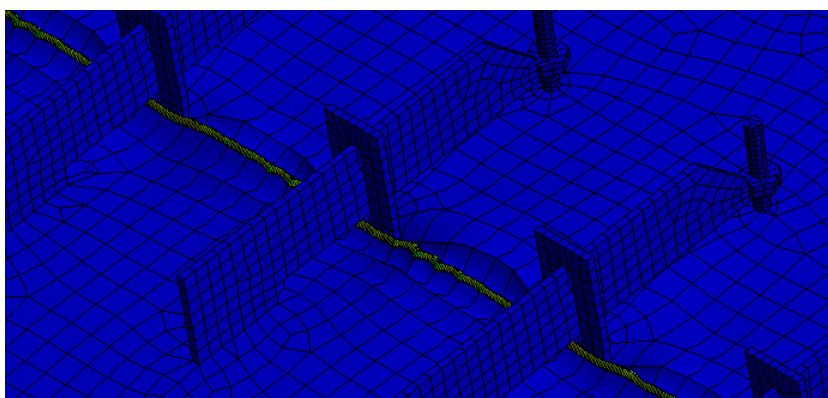
Tabel IV.24 Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 20 dan Tebal 16 mm

Jarak Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
200 mm	982	9.57	0.2644	80.648
300 mm	2485	32.22	0.2741	79.970
400 mm	1150	101.00	0.3778	72.238

Berdasarkan tabel IV.24, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi jarak 400 mm sebesar 0.3778 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 1150 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 101.00 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi jarak 200 mm sebesar 80.648 MPa.



Gambar IV.48 Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 24

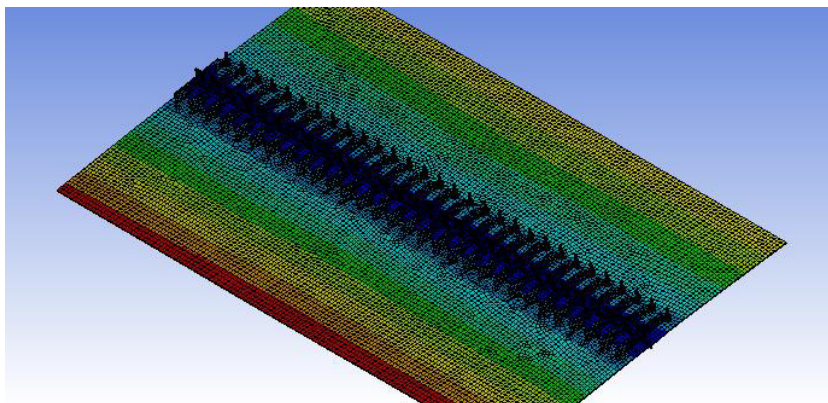


Gambar IV.49 Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 24

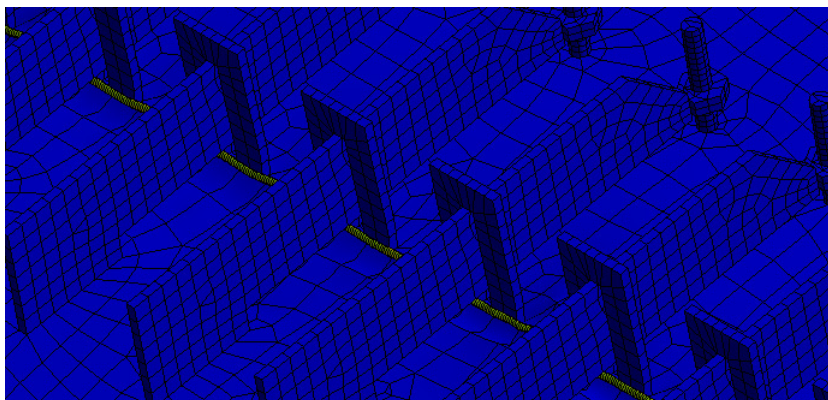
Tabel IV.25 Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 24 dan Tebal 12 mm

Jarak Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
200 mm	1987	42.84	0.3482	79.260
300 mm	1966	36.19	0.3599	77.022
400 mm	1739	47.02	0.4171	71.310

Berdasarkan tabel IV.25, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi jarak 400 mm sebesar 0.4171 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 1739 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 47.02 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi jarak 200 mm sebesar 79.260 MPa.



Gambar IV.50 Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24

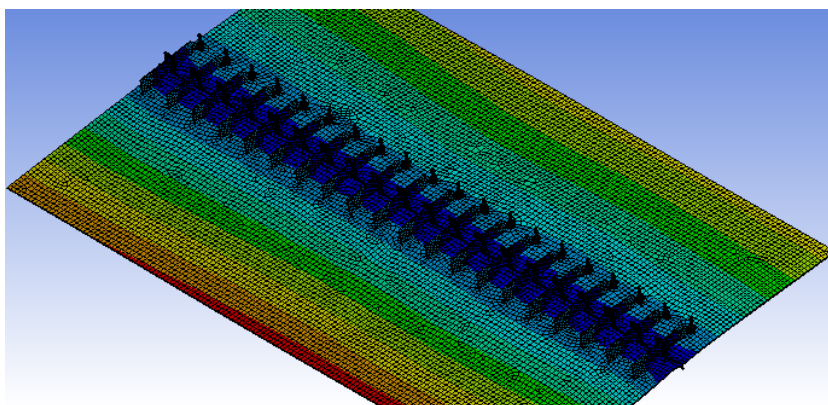


Gambar IV.51 Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24

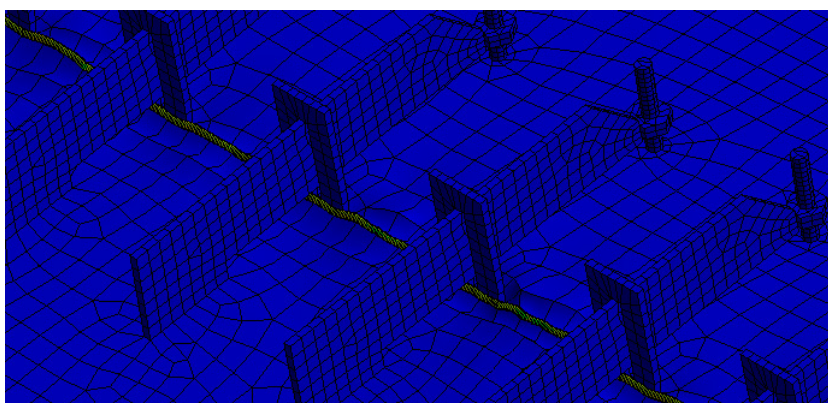
Tabel IV.26 Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 24 dan Tebal 14 mm

Jarak Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
200 mm	3583	21.88	0.2669	79.298
300 mm	4086	82.71	0.3155	78.946
400 mm	782	40.74	0.3674	72.864

Berdasarkan tabel IV.26, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi jarak 400 mm sebesar 0.3674 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 782 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 40.74 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi jarak 200 mm sebesar 79.298 MPa.



Gambar IV.52 Deformasi Jarak 300 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 24

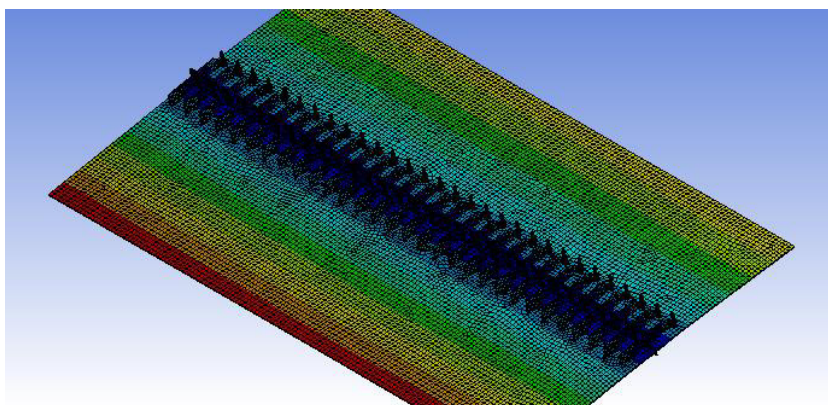


Gambar IV.53 Tegangan Sisa Jarak 300 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 24

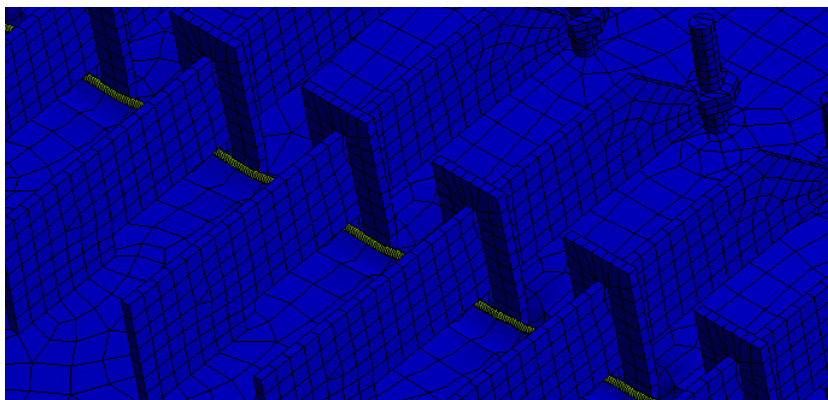
Tabel IV.27 Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 24 dan Tebal 16 mm

Jarak Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
200 mm	4013	51.19	0.2634	81.218
300 mm	4856	13.34	0.2736	79.594
400 mm	1124	34.48	0.3438	73.764

Berdasarkan tabel IV.27, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi jarak 400 mm sebesar 0.3438 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 1124 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 34.48 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi jarak 200 mm sebesar 81.218 MPa.



Gambar IV.54 Deformasi Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27

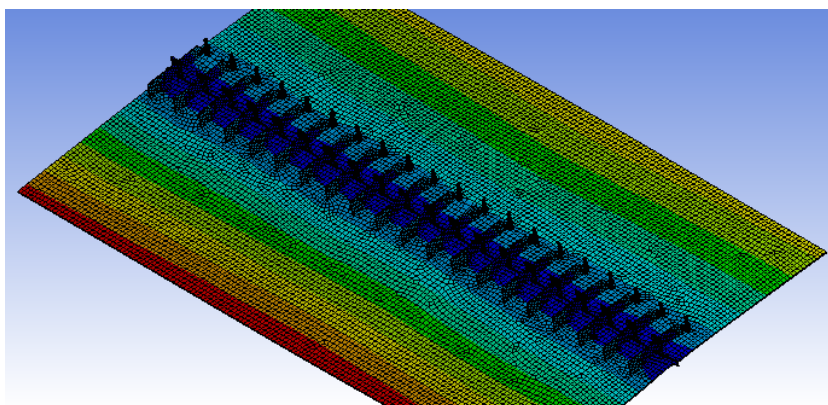


Gambar IV.55 Tegangan Sisa Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27

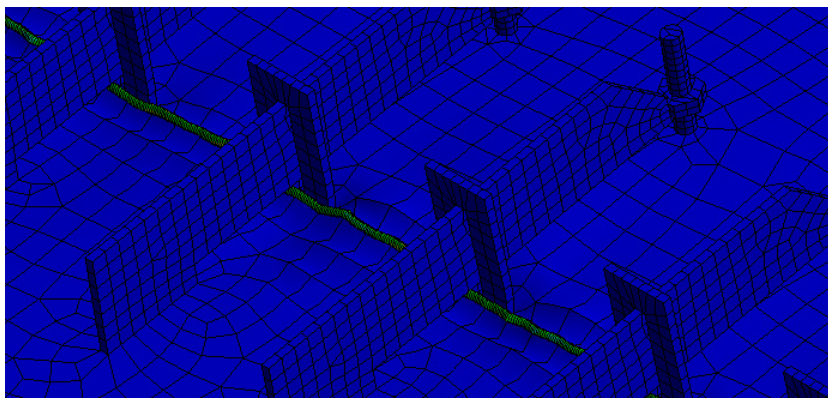
Tabel IV.28 Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 27 dan Tebal 12 mm

Jarak Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
200 mm	3952	76.68	0.3146	75.444
300 mm	1758	38.10	0.3415	73.536
400 mm	1607	47.98	0.3812	72.356

Berdasarkan tabel IV.28, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi jarak 400 mm sebesar 0.3812 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 1607 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 47.98 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi jarak 200 mm sebesar 75.444 MPa.



Gambar IV.56 Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 27

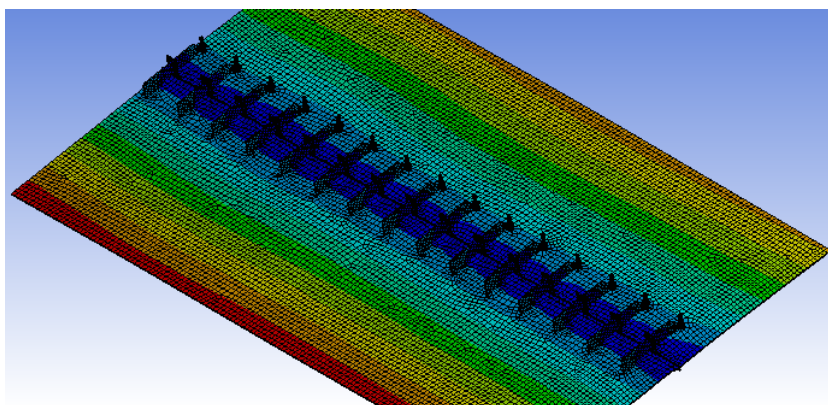


Gambar IV.57 Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 27

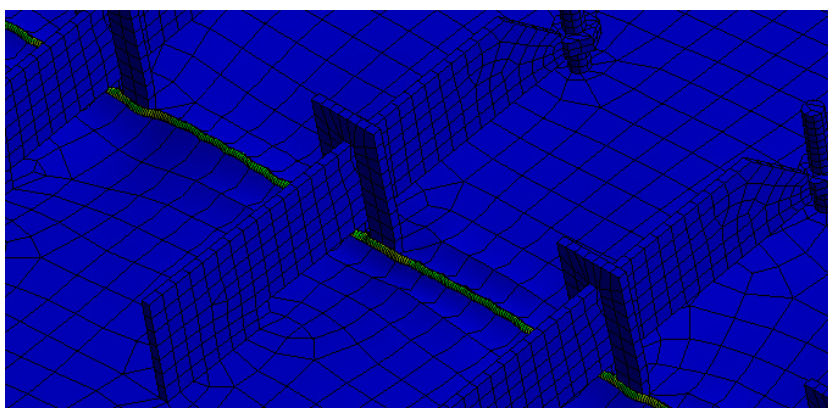
Tabel IV.29 Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 27 dan Tebal 14 mm

Jarak Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
200 mm	4740	0.87	0.2950	78.918
300 mm	1633	35.97	0.2973	76.836
400 mm	2904	14.62	0.3446	72.384

Berdasarkan tabel IV.29, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi jarak 400 mm sebesar 0.3446 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 2904 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 14.62 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi jarak 200 mm sebesar 78.918 MPa.



Gambar IV.58 Deformasi Jarak 400 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 27



Gambar IV.59 Tegangan Sisa Jarak 400 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 27

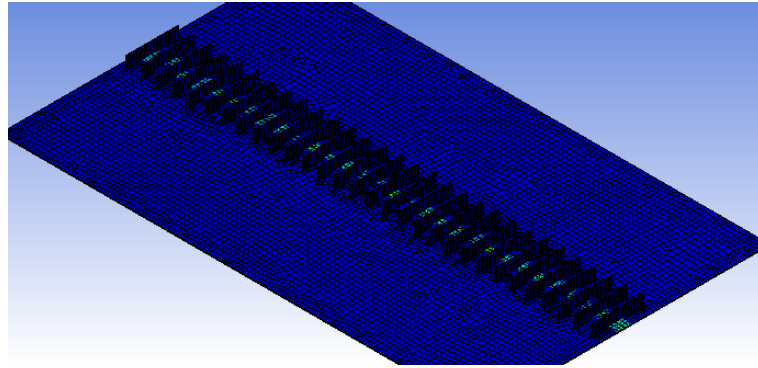
Tabel IV.30 Hasil Pada Variasi Ukuran Baut M 27 dan Tebal 16 mm

Jarak Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
200 mm	3691	63.57	0.2447	79.344
300 mm	2745	94.18	0.2448	78.386
400 mm	5109	28.06	0.2989	74.466

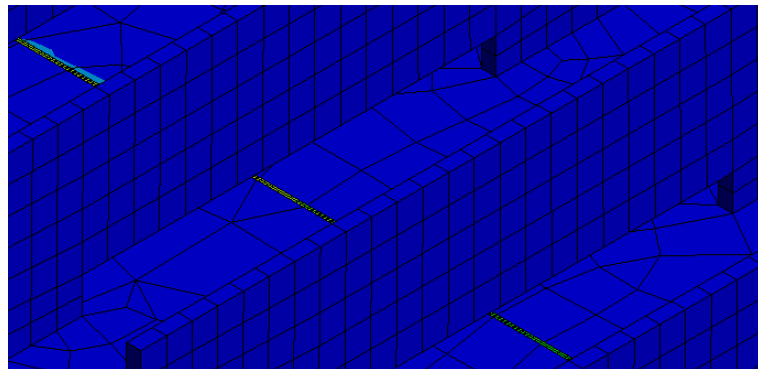
Berdasarkan tabel IV.30, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi jarak 400 mm sebesar 0.2989 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 5109 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 28.06 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi jarak 200 mm sebesar 79.344 MPa.

IV.2.5. Variasi Tebal Pada *Stopper* Konvensional

Dalam pemodelan, dilakukan variasi tebal *stopper*. Tebal *stopper* yang divariasikan, menggunakan ukuran 12 mm, 14 mm dan 16 mm. Nilai deformasi dan tegangan sisa yang diperoleh adalah:



Gambar IV.60 Deformasi Jarak 200 mm dan Tebal 12 mm



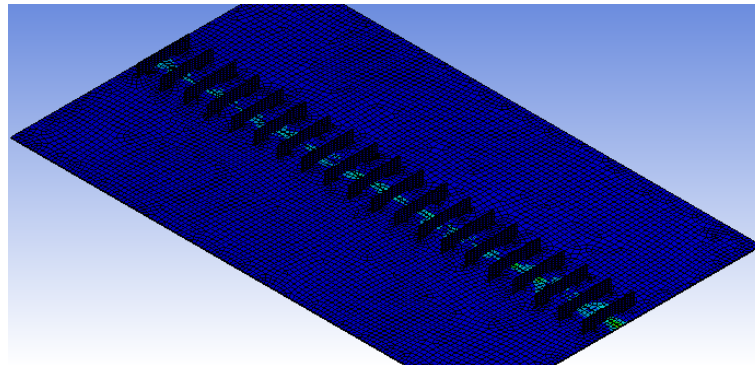
Gambar IV.61 Tegangan Sisa Jarak 200 mm dan Tebal 12 mm

Tabel IV.31 Hasil Pada Variasi Jarak 200 mm

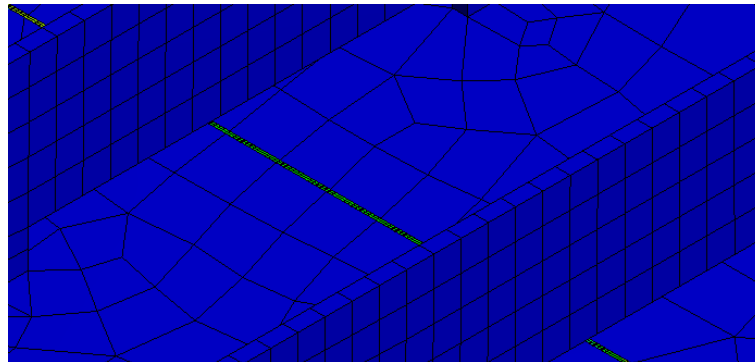
Tebal Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
12 mm	4042	-0.04	0.2611	75.250
14 mm	3012	1.04	0.2474	78.702
16 mm	5166	-0.85	0.1975	79.642

Berdasarkan tabel IV.31, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi tebal 12 mm sebesar 0.2611 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 4042 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat

-0.04 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi tebal 16 mm sebesar 79.642 MPa.



Gambar IV.62 Deformasi Jarak 300 mm dan Tebal 14 mm

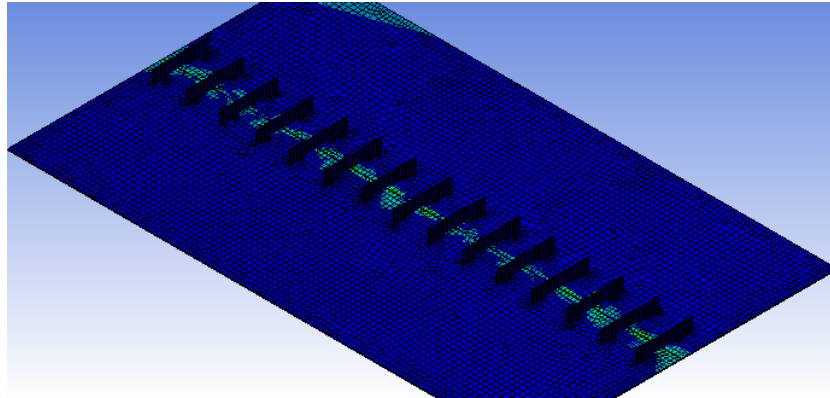


Gambar IV.63 Tegangan Sisa Jarak 300 mm dan Tebal 14 mm

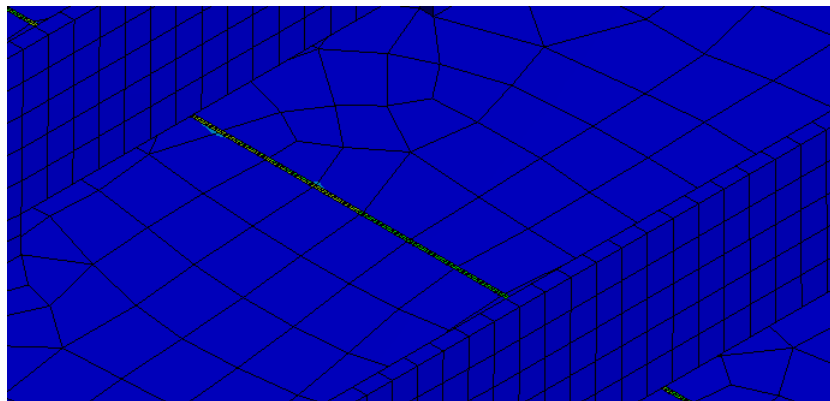
Tabel IV.32 Hasil Pada Variasi Jarak 300 mm

Tebal Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
12 mm	1959	1.02	0.3348	73.642
14 mm	923	-0.22	0.3059	74.122
16 mm	1174	0.38	0.2766	77.504

Berdasarkan tabel IV.32, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi tebal 12 mm sebesar 0.3348 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 1959 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 1.02 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi tebal 16 mm sebesar 77.504 MPa.



Gambar IV.64 Deformasi Jarak 400 mm dan Tebal 16 mm



Gambar IV.65 Tegangan Sisa Jarak 400 mm dan Tebal 16 mm

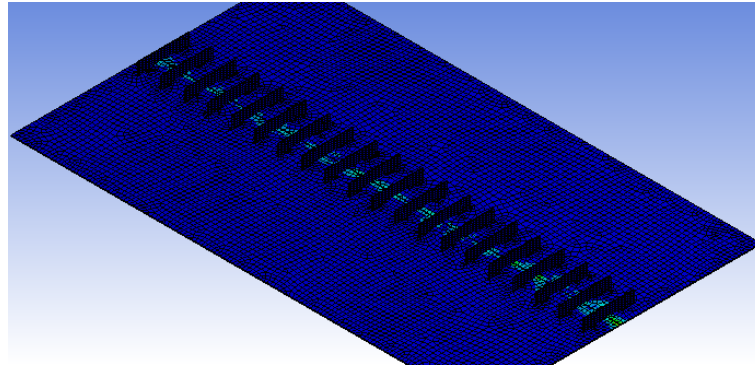
Tabel IV.33 Hasil Pada Variasi Jarak 400 mm

Tebal Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
12 mm	2670	0.93	0.4016	68.376
14 mm	3431	-1.37	0.3891	69.696
16 mm	671	-1.19	0.3303	70.258

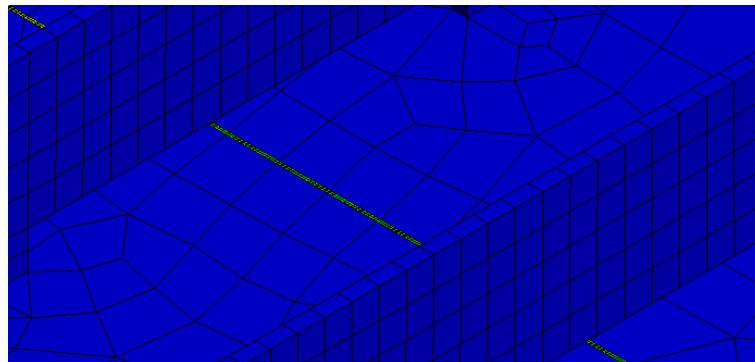
Berdasarkan tabel IV.3, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi tebal 12 mm sebesar 0.4016 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 2670 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat 0.93 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi tebal 16 mm sebesar 70.258 MPa.

IV.2.6. Variasi Jarak Pada *Stopper* Konvensional

Dalam pemodelan, dilakukan variasi jarak *stopper*. Jarak *stopper* yang divariasikan, menggunakan ukuran 200 mm, 300 mm dan 400 mm. Nilai deformasi dan tegangan sisa yang diperoleh adalah:



Gambar IV.66 Deformasi Jarak 300 mm dan Tebal 12 mm



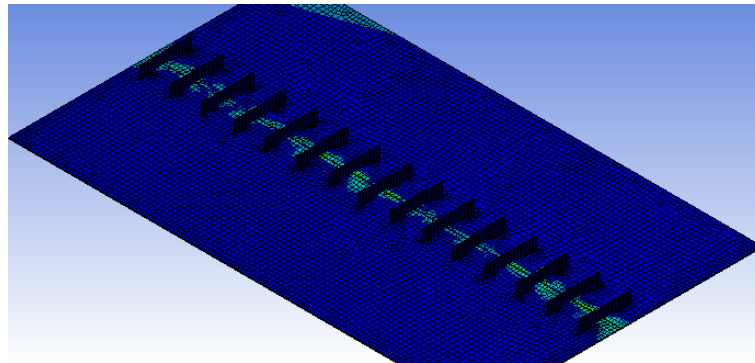
Gambar IV.67 Tegangan Sisa Jarak 300 mm dan Tebal 12 mm

Tabel IV.34 Hasil Pada Variasi Tebal 12 mm

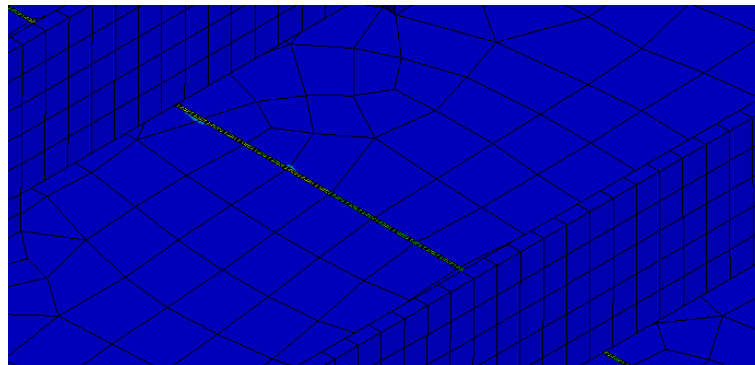
Jarak Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
200 mm	4042	-0.04	0.2611	75.250
300 mm	1959	1.02	0.3348	73.642
400 mm	2670	0.93	0.4016	68.376

Berdasarkan tabel IV.34, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi jarak 400 mm sebesar 0.4016 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 2670 mm pada sumbu X dan berada pada titik

koordinat 0.93 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi jarak 200 mm sebesar 75.250 MPa.



Gambar IV.68 Deformasi Jarak 400 mm dan Tebal 14 mm

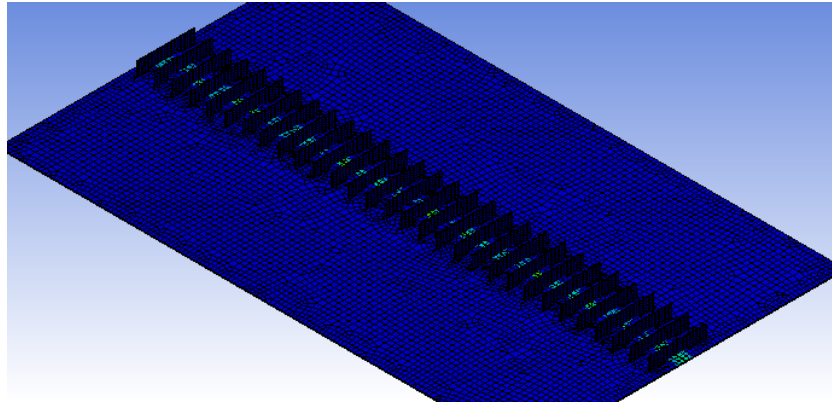


Gambar IV.69 Tegangan Sisa Jarak 400 mm dan Tebal 14 mm

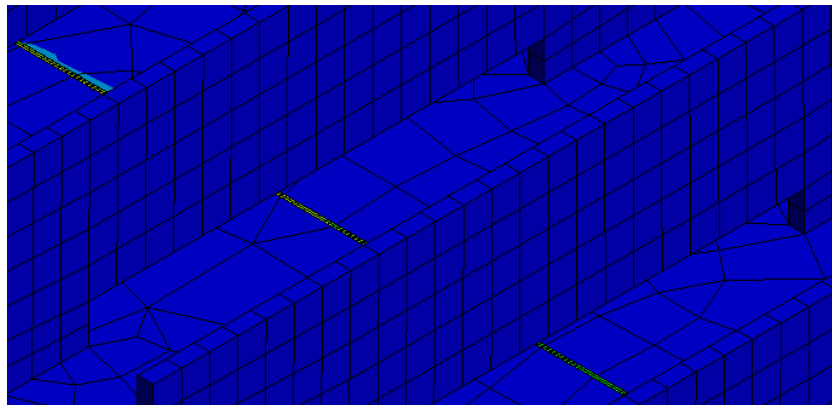
Tabel IV.35 Hasil Pada Variasi Tebal 14 mm

Jarak Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
200 mm	3012	1.04	0.2474	78.702
300 mm	923	-0.22	0.3059	74.122
400 mm	3431	-1.37	0.3891	69.696

Berdasarkan tabel IV.35, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi jarak 400 mm sebesar 0.3891 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 3431 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat -1.37 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi jarak 200 mm sebesar 78.702 MPa.



Gambar IV.70 Deformasi Jarak 200 mm dan Tebal 16 mm



Gambar IV.71 Tegangan Sisa Jarak 200 mm dan Tebal 16 mm

Tabel IV.36 Hasil Pada Variasi Tebal 16 mm

Jarak Stopper	Koordinat X pd Def Maks (mm)	Koordinat Y pd Def Maks (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
200 mm	5166	-0.85	0.1975	79.642
300 mm	1174	0.38	0.2766	77.504
400 mm	671	-1.19	0.3303	70.258

Berdasarkan tabel IV.36, didapatkan nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada variasi jarak 400 mm sebesar 0.3303 mm. Nilai deformasi maksimum arah sumbu Z terbesar berada pada titik koordinat 671 mm pada sumbu X dan berada pada titik koordinat -1.19 mm pada sumbu Y. Sedangkan nilai tegangan sisa maksimum berada pada variasi jarak 200 mm sebesar 79.642 MPa.

IV.2.7. Perbandingan Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis terhadap keseluruhan model untuk nilai deformasi arah sumbu X, *stopper* model baut memiliki nilai deformasi terbesar pada variasi jarak 400 mm, tebal 12 mm dan ukuran baut M 20 sebesar 0.1257 mm, sedangkan nilai deformasi terkecil terjadi pada variasi jarak 200 mm, tebal 16 mm dan ukuran baut M 27 sebesar 0.0694 mm. Pada *stopper* model konvensional, nilai deformasi terbesar pada variasi jarak 400 mm dan tebal 12 mm sebesar 0.1270 mm, sedangkan nilai deformasi terkecil terjadi pada variasi jarak 200 mm dan tebal 16 mm sebesar 0.0966 mm.

Berdasarkan hasil analisis terhadap keseluruhan model untuk nilai deformasi arah sumbu Y, *stopper* model baut memiliki nilai deformasi terbesar pada variasi jarak 400 mm, tebal 12 mm dan ukuran baut M 20 sebesar 0.1314 mm, sedangkan nilai deformasi terkecil terjadi pada variasi jarak 200 mm, tebal 16 mm dan ukuran baut M 24 sebesar 0.0679 mm. Pada *stopper* model konvensional, nilai deformasi terbesar pada variasi jarak 400 mm dan tebal 12 mm sebesar 0.0441 mm, sedangkan nilai deformasi terkecil terjadi pada variasi jarak 200 mm dan tebal 16 mm sebesar 0.0093 mm.

Berdasarkan hasil analisis terhadap keseluruhan model untuk nilai deformasi arah sumbu Z, *stopper* model baut memiliki nilai deformasi terbesar pada variasi jarak 400 mm, tebal 12 mm dan ukuran baut M 20 sebesar 0.4472 mm, sedangkan nilai deformasi terkecil terjadi pada variasi jarak 200 mm, tebal 16 mm dan ukuran baut M 27 sebesar 0.2447 mm. Pada *stopper* model konvensional, nilai deformasi terbesar pada variasi jarak 400 mm dan tebal 12 mm sebesar 0.4016 mm, sedangkan nilai deformasi terkecil terjadi pada variasi jarak 200 mm dan tebal 16 mm sebesar 0.1975 mm.

Dari uraian di atas, deformasi pada arah sumbu Z memiliki nilai yang terbesar dibandingkan deformasi arah sumbu X maupun Y. Semakin besar jarak antar *stopper*, nilai deformasi cenderung semakin besar. Semakin besar tebal *stopper*, nilai deformasi cenderung semakin kecil. Semakin besar ukuran baut, nilai deformasi cenderung semakin kecil.

Tegangan sisa pada kedua jenis *stopper* memiliki nilai yang cukup merata. Pada *stopper* model baut, nilai tegangan sisa terbesar terjadi pada variasi jarak 200 mm, tebal 16 mm dan ukuran baut M 24 sebesar 81.218 MPa, nilai tegangan sisa terkecil terjadi pada variasi jarak 400 mm, tebal 12 mm dan ukuran baut M 24 sebesar 71.310 MPa. Pada *stopper* konvensional, nilai tegangan sisa terbesar terjadi pada variasi jarak 200 mm dan tebal 16 mm sebesar 79.642 MPa, nilai tegangan sisa terkecil terjadi pada variasi jarak 400 mm dan tebal 12 mm sebesar 68.376 MPa.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan pemodelan pengelasan pelat datar yang ditahan menggunakan *stopper* dengan beberapa variasi ukuran, maka kesimpulan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Deformasi maksimum terjadi di daerah pelat datar pada arah sumbu Z (arah vertikal dari alur las), dengan hasil yang jauh berbeda dibandingkan dengan arah sumbu X (arah sejajar dengan alur las) dan arah sumbu Y (arah melintang dari alur las).
2. *Stopper* model baut memiliki nilai deformasi maksimum pada variasi jarak 400 mm, tebal 12 mm dan ukuran baut M20 sebesar 0.4472 mm, sedangkan *stopper* model konvensional memiliki nilai deformasi maksimum pada variasi jarak 400 mm dan tebal 12 mm sebesar 0.4016 mm.
3. Semakin besar jarak antar *stopper*, nilai deformasi cenderung semakin besar. Semakin tebal *stopper*, nilai deformasi cenderung semakin kecil. Semakin besar ukuran baut, nilai deformasi cenderung semakin kecil.
4. Nilai deformasi pelat datar akibat *stopper* model baut lebih besar dibandingkan dengan nilai deformasi pelat datar akibat *stopper* konvensional.
5. Pada *stopper* model baut, nilai tegangan sisa maksimum sebesar 81.218 MPa terjadi pada variasi jarak 200 mm, tebal 16 mm dan ukuran baut M 24, sedangkan pada *stopper* konvensional, nilai tegangan sisa maksimum sebesar 79.642 MPa terjadi pada variasi jarak 200 mm dan tebal 16 mm.
6. Tegangan sisa banyak tersebar pada variasi jarak pemasangan *stopper* 200 mm dikarenakan pengeangan *stopper* yang berlebihan akan memicu timbulnya tegangan sisa yang besar.
7. Tegangan sisa pada kedua jenis *stopper* memiliki nilai yang relatif sama yang berkisar antara 68.376 MPa hingga 81.218 MPa, namun tegangan sisa pada *stopper* konvensional cenderung memiliki nilai yang sedikit lebih kecil.
8. Penggunaan *stopper* model konvensional memberikan pengaruh yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan *stopper* model baut dilihat dari sisi deformasi dan tegangan sisa.

V.2. Saran

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, terdapat beberapa kekurangan. Oleh karena itu, ada beberapa saran untuk perbaikan penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Dapat dilakukan penelitian yang berhubungan tentang analisis teknis dan ekonomis perbandingan *stopper* jenis baut dan konvensional.
2. Dapat dilakukan penelitian mengenai pengaruh *tack weld* yang dilakukan di daerah HAZ pada *stopper* model baut.
3. Dapat dilakukan penelitian mengenai pengaruh sudut *stopper* terhadap alur las.
4. Dapat dilakukan penelitian mengenai *stopper* dengan bahan material selain baja.

DAFTAR PUSTAKA

- Bantami, Wahyu. (2009). Tugas Akhir. *Pengaruh Jarak Tanggem Terhadap Deformasi dan Cacat Retak Pada Sambungan Butt Joint Material Baja SS 41 Dengan Pengelasan SMAW*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- BKI. (2009). *Rules For The Classification And Construction Of Seagoing Steel Ships*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Mahfud. (2012). Tugas Akhir. *Analisa Pengaruh Variasi Tanggem Pada Pengelasan Pipa Carbon Steel Dengan Metode Pengelasan SMAW dan FCAW Terhadap Deformasi dan Tegangan Sisa Menggunakan Analisa Pemodelan Elemen Hingga*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Morna, M. Zaed. (2012). Tugas Akhir. *Analisa Terbentuknya Tegangan Sisa Dan Deformasi Pada Pengelasan Pipa Beda Jenis Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Pratama, Prayoga Relanda. (2016). Tugas Akhir. *Pengaruh Stopper Terhadap Tegangan Sisa dan Deformasi Pada Sambungan Butt Weld Pelat Datar Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Putra, Rafid Buana. (2017). Tugas Akhir. *Analisis Pengaruh Ukuran Stopper Pada Sambungan Pelat Kapal terhadap Tegangan Sisa dan Deformasi Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sunaryo, H. (2008). *Teknik Pengelasan Kapal*. Jakarta: Departemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Wahyu. (2016). Seminar Perkapalan. *Teknik Sederhana Mengurangi Cacat Bekas Stopper Pada Sambungan Blok Kapal*. Surabaya: PT. PAL Indonesia.
- Wiryosumarto, H. dan Okumura, T. (1996). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.

LAMPIRAN

Lampiran A Hasil Uji Konvergensi
Lampiran B Grafik Koreksi Deformasi
Lampiran C Rekap Hasil Analisis

BIODATA PENULIS



Anggit Akbar Anggoro, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Sragen pada 11 Oktober 1994 silam, yang merupakan anak kedua dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar di TK PTPN IV Kerjo Arum Sragen, kemudian melanjutkan pendidikan di SDN 5 Sragen, SMPN 5 Sragen dan SMAN Sragen Bilingual Boarding School. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa studi di ITS, Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Syiar LDJ Teknik Perkapalan As-Safiinah 2014/2015, *staff* Divisi ILC Syiar LDK JMMI ITS 2014/2015, *staff* Departemen Syiar LDF FTK Al-Bahri 2015/2016, Sekretaris LDJ Teknik Perkapalan As-Safiinah 2015/2016 serta Kepala Divisi IC Syiar LDK JMMI ITS 2015/2016.

Penulis tercatat pernah melakukan kerja praktek pertama untuk menangani masalah reparasi kapal di PT. Dok Pantai Lamongan pada tahun 2015 dan kerja praktek kedua untuk menangani masalah inspeksi dan pembangunan kapal baru di Lloyd's Register Surabaya pada tahun 2016.

Email: anggit13@mhs.na.its.ac.id atau anggitakbar@gmail.com

LAMPIRAN A
HASIL UJI KONVERGENSI

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 20

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(°C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1301.0		0.0844		1.0604		0.1251		81.995	
		0.02		1.66		2.44		1.77		1.50
90	1300.8		0.0830		1.0345		0.1229		80.769	
		0.00		1.42		1.64		1.79		1.74
80	1300.8		0.0818		1.0175		0.1207		79.366	
		0.02		1.12		1.05		1.10		1.23
70	1300.5		0.0809		1.0068		0.1194		78.387	
		0.01		0.62		1.60		0.88		0.79
60	1300.4		0.0814		0.9907		0.1183		79.006	
		0.01		0.61		1.17		0.56		0.90
50	1300.5		0.0819		1.0023		0.1176		78.295	
		0.00		0.12		0.96		0.50		0.44
40	1300.5		0.0818		1.0119		0.1171		78.639	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 24

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(°C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1301.4		0.0829		0.9981		0.1340		79.248	
		0.03		2.01		1.83		1.88		1.60
90	1301.0		0.0813		0.9798		0.1314		80.516	
		0.07		1.89		1.67		1.74		1.56
80	1300.1		0.0797		0.9962		0.1292		79.260	
		0.06		1.75		1.42		1.67		1.36
70	1300.9		0.0812		0.9823		0.1314		80.353	
		0.01		1.22		1.34		1.52		1.27
60	1300.8		0.0802		0.9693		0.1294		79.345	
		0.00		0.97		0.98		1.51		0.86
50	1300.8		0.0810		0.9599		0.1275		78.669	
		0.01		0.53		0.55		1.44		0.96
40	1300.6		0.0805		0.9652		0.1293		77.921	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 200 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1302.0		0.0776		0.9952		0.1222		75.654	
		0.03		1.62		1.97		1.74		1.78
90	1301.6		0.0764		1.0148		0.1201		74.307	
		0.04		1.45		1.83		1.55		1.53
80	1302.1		0.0775		0.9962		0.1183		75.444	
		0.01		1.11		1.48		1.32		1.02
70	1302.0		0.0766		1.0112		0.1167		74.682	
		0.02		0.95		1.23		0.90		0.82
60	1301.7		0.0774		0.9989		0.1157		75.300	
		0.01		0.63		0.93		0.71		0.68
50	1301.8		0.0769		0.9897		0.1165		74.791	
		0.00		0.76		0.83		0.43		0.39
40	1301.8		0.0763		0.9815		0.1170		74.501	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 300 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 20

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1301.2		0.1073		1.0252		0.0886		77.220	
		0.05		1.84		1.89		1.82		1.66
90	1300.6		0.1093		1.0058		0.0869		75.938	
		0.03		1.69		1.68		1.42		1.39
80	1300.2		0.1075		1.0227		0.0857		76.994	
		0.08		1.31		1.03		1.01		0.93
70	1299.2		0.1061		1.0123		0.0849		76.285	
		0.03		1.07		0.98		0.80		0.57
60	1299.6		0.1049		1.0024		0.0855		75.852	
		0.06		0.78		0.98		0.74		0.61
50	1298.8		0.1058		0.9927		0.0849		76.318	
		0.02		0.46		0.62		0.65		0.54
40	1298.5		0.1053		0.9989		0.0844		75.908	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 300 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 24

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1300.5		0.1065		1.0691		0.0968		77.159	
		0.08		1.62		2.03		1.71		2.00
90	1299.4		0.1047		1.0474		0.0952		75.616	
		0.02		1.72		1.68		1.69		1.86
80	1299.7		0.1066		1.0298		0.0935		77.022	
		0.02		1.37		1.56		1.29		1.60
70	1299.4		0.1051		1.0140		0.0948		75.809	
		0.02		0.98		1.22		1.04		1.34
60	1299.2		0.1041		1.0265		0.0938		74.807	
		0.04		0.81		0.88		0.87		1.08
50	1298.7		0.1033		1.0356		0.0930		75.623	
		0.01		0.58		0.84		0.74		0.89
40	1298.5		0.1039		1.0270		0.0937		74.956	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 300 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1290.8		0.1045		1.0140		0.0945		76.607	
		0.07		1.65		1.92		1.79		2.18
90	1289.9		0.1028		0.9945		0.0928		74.937	
		0.03		1.52		1.77		1.58		1.87
80	1290.3		0.1012		0.9769		0.0914		73.536	
		0.04		1.14		1.42		1.34		1.57
70	1289.8		0.1024		0.9632		0.0902		74.709	
		0.02		0.91		1.03		1.09		1.51
60	1289.5		0.1033		0.9534		0.0892		73.598	
		0.02		0.88		0.82		0.81		1.40
50	1289.3		0.1024		0.9613		0.0885		72.581	
		0.03		0.58		0.79		0.60		1.33
40	1289.7		0.1018		0.9538		0.0890		71.629	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 400 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 20

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1297.7		0.1260		1.3268		0.0804		72.096	
		0.04		1.48		1.98		1.57		1.93
90	1297.1		0.1241		1.3005		0.0791		73.487	
		0.02		1.27		1.62		1.44		1.64
80	1297.4		0.1257		1.2795		0.0780		72.282	
		0.00		1.15		1.03		1.36		1.20
70	1297.4		0.1243		1.2928		0.0769		73.160	
		0.01		0.89		0.91		1.09		0.81
60	1297.5		0.1254		1.2811		0.0778		72.572	
		0.02		0.71		0.86		0.92		0.63
50	1297.3		0.1245		1.2702		0.0785		72.118	
		0.00		0.59		0.65		0.88		0.61
40	1297.3		0.1238		1.2785		0.0778		71.680	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 400 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 24

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1296.6		0.1237		1.1398		0.0698		73.805	
		0.02		1.94		2.38		1.46		1.84
90	1296.4		0.1261		1.1127		0.0688		72.447	
		0.04		1.72		2.09		1.39		1.57
80	1296.9		0.1239		1.1359		0.0679		71.310	
		0.04		1.41		1.87		1.17		1.21
70	1296.4		0.1222		1.1151		0.0687		70.457	
		0.02		1.08		1.58		0.89		1.24
60	1296.1		0.1235		1.1330		0.0681		71.342	
		0.00		0.66		1.33		0.83		0.99
50	1296.1		0.1227		1.1181		0.0686		72.055	
		0.01		0.23		1.01		0.47		0.50
40	1296.3		0.1224		1.1069		0.0683		71.697	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 400 mm, Tebal 12 mm dan Ukuran Baut M 27

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(°C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1293.9		0.1246		1.1344		0.0721		72.662	
		0.02		1.68		2.10		1.79		1.98
90	1293.7		0.1226		1.1106		0.0708		71.224	
		0.06		1.51		1.79		1.61		1.59
80	1292.9		0.1207		1.0907		0.0719		72.356	
		0.05		1.23		1.40		1.34		1.30
70	1292.3		0.1222		1.1062		0.0710		71.427	
		0.03		0.92		1.32		0.94		1.12
60	1292.6		0.1211		1.1210		0.0703		72.236	
		0.00		0.91		1.08		1.02		1.03
50	1292.6		0.1222		1.1090		0.0711		71.500	
		0.01		0.87		1.17		0.83		0.62
40	1292.5		0.1211		1.0962		0.0705		71.059	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(°C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1351.5		0.0892		0.8882		0.1231		82.316	
		0.05		1.93		1.83		1.82		1.66
90	1350.8		0.0875		0.8719		0.1208		80.949	
		0.03		1.69		1.68		1.42		1.39
80	1350.4		0.0860		0.8573		0.1191		79.824	
		0.07		1.31		1.17		1.01		0.93
70	1349.5		0.0849		0.8474		0.1179		79.088	
		0.03		1.07		0.83		0.80		0.57
60	1349.1		0.0840		0.8404		0.1170		78.640	
		0.05		0.87		0.98		0.74		0.61
50	1348.4		0.0833		0.8323		0.1161		78.163	
		0.02		0.46		0.62		0.65		0.54
40	1348.1		0.0829		0.8271		0.1154		77.744	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(°C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1253.8		0.0851		0.7963		0.0979		82.223	
		0.02		1.89		2.21		1.81		1.92
90	1253.5		0.0835		0.7787		0.0961		80.645	
		0.04		1.67		1.92		1.38		1.67
80	1253.0		0.0821		0.7637		0.0948		79.298	
		0.02		1.37		1.57		1.49		1.49
70	1252.7		0.0810		0.7519		0.0934		78.134	
		0.01		0.98		1.22		1.01		1.09
60	1252.6		0.0802		0.7429		0.0925		77.291	
		0.00		0.71		0.93		0.70		0.83
50	1252.6		0.0797		0.7360		0.0919		76.655	
		0.01		0.38		0.47		0.66		0.48
40	1252.5		0.0794		0.7326		0.0912		76.289	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 200 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 27

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(°C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1296.8		0.0851		0.8726		0.1334		81.771	
		0.02		1.32		1.58		1.78		1.84
90	1296.6		0.0840		0.8588		0.1310		80.266	
		0.03		1.03		1.72		1.42		1.68
80	1296.2		0.0831		0.8440		0.1291		78.918	
		0.04		0.92		1.39		1.19		1.58
70	1295.7		0.0823		0.8324		0.1276		77.690	
		0.02		0.78		1.00		1.07		1.35
60	1295.4		0.0817		0.8242		0.1263		76.656	
		0.05		0.73		0.70		0.79		1.05
50	1294.8		0.0811		0.8185		0.1253		75.859	
		0.02		0.18		0.37		0.72		0.77
40	1294.5		0.0810		0.8154		0.1244		75.279	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 300 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(°C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1301.4		0.1053		1.0645		0.0907		82.620	
		0.05		1.72		2.12		1.85		1.95
90	1300.8		0.1035		1.0420		0.0890		81.009	
		0.03		1.48		1.85		1.36		1.67
80	1300.4		0.1020		1.0227		0.0878		79.656	
		0.04		1.12		1.65		0.88		1.29
70	1299.9		0.1009		1.0061		0.0870		78.642	
		0.03		0.98		1.23		0.82		0.81
60	1299.5		0.0999		0.9939		0.0863		78.010	
		0.02		0.67		0.86		0.59		0.49
50	1299.2		0.0992		0.9854		0.0858		77.629	
		0.00		0.44		0.64		0.14		0.52
40	1299.2		0.0988		0.9791		0.0857		77.228	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 300 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(°C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1300.8		0.1041		0.9380		0.1016		78.750	
		0.06		1.72		2.21		1.50		2.15
90	1300.0		0.1023		0.9173		0.1001		80.446	
		0.06		1.24		1.58		1.59		1.86
80	1299.2		0.1010		0.9028		0.0985		78.946	
		0.05		1.50		1.45		0.37		1.99
70	1299.8		0.1026		0.9161		0.0988		77.405	
		0.02		1.37		1.32		0.29		1.76
60	1300.1		0.1040		0.9041		0.0991		76.070	
		0.05		0.94		1.39		0.36		1.90
50	1299.5		0.1050		0.8917		0.0988		74.654	
		0.02		0.85		0.71		0.10		1.23
40	1299.2		0.1041		0.8981		0.0987		73.746	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 300 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 27

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1301.5		0.1027		0.8823		0.0996		79.018	
		0.08		1.78		1.94		1.82		1.51
90	1300.5		0.1008		0.8652		0.0978		77.824	
		0.02		1.46		1.68		1.55		1.27
80	1300.2		0.0994		0.8507		0.0963		76.836	
		0.02		1.22		1.23		1.29		0.93
70	1299.9		0.0982		0.8403		0.0951		76.128	
		0.04		0.98		0.90		0.82		0.69
60	1299.4		0.0972		0.8328		0.0943		75.606	
		0.00		0.62		0.87		0.74		0.52
50	1299.4		0.0966		0.8256		0.0936		75.215	
		0.01		0.76		0.63		0.39		0.41
40	1299.3		0.0959		0.8205		0.0932		74.908	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 20

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1302.9		0.0796		0.9334		0.1219		78.211	
		0.04		1.48		1.98		1.57		1.93
90	1302.4		0.0785		0.9149		0.1200		76.702	
		0.02		1.27		1.62		1.44		1.64
80	1302.1		0.0775		0.9001		0.1183		75.444	
		0.00		1.15		1.03		1.36		1.20
70	1302.1		0.0766		0.8909		0.1167		74.549	
		0.01		0.89		0.91		1.09		0.81
60	1302.0		0.0759		0.8829		0.1154		73.950	
		0.02		0.71		0.86		0.92		0.63
50	1301.7		0.0754		0.8754		0.1144		73.487	
		0.00		0.59		0.65		0.88		0.61
40	1301.7		0.0749		0.8697		0.1134		73.042	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 24

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1295.4		0.1265		1.2389		0.0876		74.950	
		0.02		2.02		1.97		1.82		1.84
90	1295.2		0.1240		1.2144		0.0860		73.571	
		0.03		1.72		1.78		1.68		1.57
80	1294.8		0.1219		1.1928		0.0845		72.416	
		0.04		1.34		1.87		1.17		1.42
70	1294.3		0.1202		1.1709		0.0836		71.402	
		0.02		1.08		1.58		0.73		1.24
60	1294.0		0.1190		1.1527		0.0830		70.528	
		0.00		0.66		0.88		0.83		0.90
50	1294.0		0.1182		1.1427		0.0823		69.898	
		0.01		0.64		0.56		0.76		0.62
40	1293.9		0.1174		1.1363		0.0817		69.468	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 400 mm, Tebal 14 mm dan Ukuran Baut M 27

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1297.8		0.1189		1.0199		0.0803		75.016	
		0.06		1.82		1.71		2.01		1.76
90	1297.0		0.1167		1.0025		0.0787		73.696	
		0.04		1.63		1.64		1.85		1.78
80	1296.5		0.1148		0.9860		0.0773		72.384	
		0.05		1.19		1.20		1.64		1.52
70	1295.9		0.1135		0.9743		0.0760		71.300	
		0.02		0.86		0.76		1.03		1.24
60	1295.6		0.1125		0.9670		0.0752		70.427	
		0.00		0.47		0.72		0.86		0.97
50	1295.6		0.1120		0.9601		0.0746		69.750	
		0.00		0.51		0.29		0.62		0.79
40	1295.6		0.1114		0.9573		0.0741		69.204	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 200 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 20

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1302.3		0.0740		0.7845		0.1269		83.326	
		0.06		2.08		1.96		1.42		1.58
90	1301.5		0.0725		0.7691		0.1251		82.009	
		0.03		1.71		1.63		1.12		1.66
80	1301.1		0.0712		0.7566		0.1237		80.648	
		0.03		1.17		1.41		0.85		1.47
70	1300.7		0.0704		0.7461		0.1227		79.480	
		0.02		1.22		0.90		0.60		1.26
60	1300.4		0.0696		0.7394		0.1220		78.491	
		0.05		0.78		0.64		0.42		0.98
50	1299.8		0.0690		0.7347		0.1214		77.729	
		0.02		0.79		0.25		0.45		0.72
40	1299.5		0.0685		0.7329		0.1209		77.173	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 200 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 24

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1301.8		0.0716		0.7784		0.1317		84.180	
		0.07		1.43		1.78		1.72		1.81
90	1300.9		0.0706		0.7646		0.1294		82.656	
		0.05		1.19		1.45		1.28		1.74
80	1300.2		0.0698		0.7535		0.1278		81.218	
		0.04		0.88		1.29		1.21		1.28
70	1299.7		0.0692		0.7439		0.1262		80.192	
		0.02		0.48		0.96		0.93		0.89
60	1299.4		0.0688		0.7368		0.1251		79.484	
		0.02		0.43		0.77		0.74		0.62
50	1299.2		0.0685		0.7312		0.1241		78.994	
		0.03		0.12		0.61		0.48		0.72
40	1298.8		0.0685		0.7268		0.1235		78.430	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 200 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 27

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1299.5		0.0719		0.7232		0.1350		82.004	
		0.04		1.92		1.73		1.46		1.79
90	1299.0		0.0706		0.7107		0.1330		80.536	
		0.03		1.68		1.48		1.22		1.48
80	1298.6		0.0694		0.7002		0.1314		79.344	
		0.04		1.32		1.56		0.84		1.20
70	1298.1		0.0685		0.6894		0.1303		78.403	
		0.02		0.95		1.42		0.56		0.91
60	1297.8		0.0678		0.6798		0.1296		77.696	
		0.02		0.77		0.89		0.68		0.74
50	1297.6		0.0673		0.6738		0.1287		77.125	
		0.04		0.67		0.62		0.50		0.29
40	1297.0		0.0669		0.6696		0.1281		76.902	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 300 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 20

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1302.1		0.1014		0.8181		0.0990		82.718	
		0.08		1.59		2.22		1.65		1.79
90	1301.0		0.0998		0.7999		0.0974		81.237	
		0.04		1.26		1.96		1.41		1.56
80	1300.5		0.0986		0.7843		0.0960		79.970	
		0.01		1.18		1.54		1.28		1.32
70	1300.4		0.0974		0.7724		0.0948		78.928	
		0.00		0.64		1.04		0.99		0.91
60	1300.4		0.0968		0.7644		0.0939		78.216	
		0.06		0.82		0.87		0.82		0.76
50	1299.6		0.0960		0.7578		0.0931		77.626	
		0.02		0.38		0.84		0.65		0.44
40	1299.3		0.0956		0.7515		0.0925		77.286	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 300 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 24

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1298.7		0.0996		0.8113		0.9433		81.962	
		0.04		1.66		1.84		1.52		1.49
90	1298.2		0.0979		0.7963		0.9290		80.741	
		0.06		1.39		1.71		1.40		1.42
80	1297.4		0.0966		0.7827		0.9160		79.594	
		0.02		1.05		1.31		1.10		1.23
70	1297.1		0.0956		0.7726		0.9060		78.627	
		0.06		0.84		1.09		0.82		0.94
60	1296.4		0.0948		0.7643		0.8986		77.895	
		0.02		0.73		0.47		0.59		0.78
50	1296.1		0.0941		0.7607		0.8933		77.292	
		0.00		0.28		0.68		0.08		0.72
40	1296.1		0.0938		0.7556		0.8926		76.739	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 300 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 27

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1301.1		0.0972		0.7226		0.0999		81.336	
		0.08		1.43		1.76		1.79		1.98
90	1300.1		0.0958		0.7099		0.0981		79.725	
		0.06		1.34		1.35		1.62		1.68
80	1299.3		0.0945		0.7003		0.0965		78.386	
		0.05		1.02		1.32		1.48		1.25
70	1298.7		0.0935		0.6912		0.0951		77.418	
		0.02		0.88		0.97		1.30		1.01
60	1298.4		0.0927		0.6846		0.0939		76.644	
		0.02		0.62		0.66		1.04		0.58
50	1298.1		0.0922		0.6801		0.0929		76.202	
		0.04		0.76		0.63		0.88		0.59
40	1297.6		0.0915		0.6758		0.0921		75.755	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 400 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 20

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1297.9		0.1191		1.1175		0.0954		75.840	
		0.06		1.89		1.84		1.67		1.88
90	1297.2		0.1168		1.0969		0.0938		74.414	
		0.02		1.52		1.46		1.35		1.58
80	1296.9		0.1150		1.0809		0.0925		73.238	
		0.00		1.24		1.27		1.21		1.36
70	1296.9		0.1136		1.0674		0.0914		72.255	
		0.07		0.94		1.06		0.99		0.98
60	1296.0		0.1126		1.0562		0.0905		71.554	
		0.02		0.45		0.93		0.68		0.65
50	1295.7		0.1121		1.0464		0.0899		71.092	
		0.02		0.53		0.58		0.62		0.32
40	1295.5		0.1115		1.0404		0.0894		70.865	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 400 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 24

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1296.1		0.1155		0.9988		0.0852		76.284	
		0.03		1.44		1.54		1.67		1.90
90	1295.7		0.1139		0.9834		0.0837		74.834	
		0.01		1.27		1.68		1.45		1.43
80	1295.6		0.1124		0.9669		0.0825		73.764	
		0.06		0.94		1.41		1.12		1.19
70	1294.8		0.1114		0.9535		0.0816		72.897	
		0.02		0.76		1.06		0.98		0.73
60	1294.6		0.1105		0.9435		0.0808		72.368	
		0.02		0.78		0.80		0.64		0.61
50	1294.3		0.1097		0.9360		0.0803		71.929	
		0.05		0.34		0.86		0.18		0.55
40	1293.7		0.1093		0.9280		0.0802		71.536	

Uji Konvergensi Stopper Model Baut

Variasi Jarak 400 mm, Tebal 16 mm dan Ukuran Baut M 27

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1298.3		0.1144		1.0001		0.0820		77.166	
		0.04		1.62		1.71		1.58		1.97
90	1297.7		0.1125		0.9830		0.0807		75.646	
		0.08		1.48		1.64		1.85		1.56
80	1296.7		0.1109		0.9669		0.0792		74.466	
		0.05		1.28		1.32		1.78		1.42
70	1296.1		0.1095		0.9543		0.0778		73.423	
		0.00		0.86		0.76		1.03		1.21
60	1296.1		0.1085		0.9471		0.0770		72.546	
		0.03		0.47		0.67		0.76		0.97
50	1295.7		0.1080		0.9408		0.0764		71.849	
		0.03		0.49		0.29		0.26		0.65
40	1295.3		0.1075		0.9381		0.0762		71.385	

Uji Konvergensi Stopper Model Konvensional

Variasi Jarak 200 mm dan Tebal 12 mm

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1288.0		0.1083		0.4161		0.0396		78.058	
		0.06		2.00		1.76		1.64		1.90
90	1287.2		0.1061		0.4087		0.0390		76.575	
		0.01		1.80		1.58		1.27		1.73
80	1287.1		0.1042		0.4023		0.0385		75.250	
		0.03		1.65		1.24		0.97		1.35
70	1286.7		0.1025		0.3973		0.0381		74.248	
		0.01		1.18		0.97		0.71		0.88
60	1286.6		0.1013		0.3935		0.0379		73.600	
		0.03		0.78		0.62		0.53		0.79
50	1286.2		0.1005		0.3911		0.0377		73.023	
		0.02		0.76		0.59		0.28		0.73
40	1285.9		0.0998		0.3888		0.0376		72.494	

Uji Konvergensi Stopper Model Konvensional

Variasi Jarak 200 mm dan Tebal 14 mm

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1286.3		0.1044		0.3807		0.0423		81.522	
		0.04		1.76		1.96		1.86		1.71
90	1285.8		0.1025		0.3732		0.0416		80.128	
		0.06		1.26		1.63		1.54		1.78
80	1285.0		0.1012		0.3671		0.0409		78.702	
		0.03		1.04		1.39		1.47		1.42
70	1284.6		0.1002		0.3621		0.0403		77.600	
		0.01		0.94		1.03		1.09		0.90
60	1284.5		0.0993		0.3584		0.0399		76.908	
		0.02		0.72		0.79		0.83		0.49
50	1284.2		0.0986		0.3556		0.0396		76.533	
		0.04		0.38		0.74		0.68		0.51
40	1283.7		0.0982		0.3530		0.0393		76.145	

Uji Konvergensi Stopper Model Konvensional

Variasi Jarak 200 mm dan Tebal 16 mm

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1287.9		0.0999		0.3033		0.0457		82.463	
		0.04		1.84		1.83		1.90		1.89
90	1287.4		0.0980		0.2977		0.0449		80.904	
		0.03		1.49		1.57		1.74		1.56
80	1287.0		0.0966		0.2930		0.0441		79.642	
		0.01		1.26		1.27		1.04		1.20
70	1286.9		0.0954		0.2894		0.0436		78.698	
		0.03		1.08		0.92		0.96		0.81
60	1286.5		0.0944		0.2867		0.0432		78.065	
		0.02		0.74		0.78		0.72		0.64
50	1286.2		0.0937		0.2845		0.0429		77.569	
		0.01		0.82		0.46		0.16		0.32
40	1286.1		0.0929		0.2832		0.0428		77.321	

Uji Konvergensi Stopper Model Konvensional

Variasi Jarak 300 mm dan Tebal 12 mm

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1290.9		0.1191		0.5178		0.0208		76.569	
		0.07		1.34		2.18		1.46		2.00
90	1290.0		0.1175		0.5065		0.0205		75.038	
		0.03		1.37		1.91		1.74		1.86
80	1289.6		0.1159		0.4968		0.0201		73.642	
		0.03		1.05		1.64		1.36		1.59
70	1289.2		0.1147		0.4888		0.0198		72.489	
		0.01		0.92		1.03		1.19		1.22
60	1289.1		0.1137		0.4838		0.0196		71.616	
		0.02		0.79		1.08		0.93		0.86
50	1288.8		0.1128		0.4787		0.0194		71.005	
		0.01		0.56		0.88		0.77		0.72
40	1288.7		0.1122		0.4745		0.0193		70.497	

Uji Konvergensi Stopper Model Konvensional

Variasi Jarak 300 mm dan Tebal 14 mm

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1289.5		0.1159		0.4710		0.0333		76.904	
		0.04		1.67		1.94		1.72		1.96
90	1289.0		0.1139		0.4618		0.0327		75.396	
		0.04		1.45		1.73		1.58		1.69
80	1288.5		0.1123		0.4538		0.0322		74.122	
		0.02		1.41		1.39		1.31		1.34
70	1288.2		0.1107		0.4476		0.0318		73.142	
		0.06		0.82		1.00		1.04		0.98
60	1287.5		0.1098		0.4432		0.0315		72.432	
		0.02		0.65		0.66		0.86		0.73
50	1287.2		0.1091		0.4403		0.0312		71.907	
		0.03		0.31		0.68		0.29		0.44
40	1286.8		0.1088		0.4373		0.0311		71.592	

Uji Konvergensi Stopper Model Konvensional

Variasi Jarak 300 mm dan Tebal 16 mm

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1291.0		0.1099		0.4252		0.0319		79.858	
		0.03		1.34		1.86		1.80		1.45
90	1290.6		0.1084		0.4173		0.0313		78.700	
		0.05		0.92		1.64		1.56		1.52
80	1290.0		0.1074		0.4105		0.0308		77.504	
		0.05		0.87		1.38		1.32		1.39
70	1289.4		0.1065		0.4049		0.0304		76.441	
		0.02		0.56		1.11		1.06		1.28
60	1289.1		0.1059		0.4004		0.0301		75.475	
		0.01		0.47		0.95		0.91		1.14
50	1289.0		0.1054		0.3967		0.0298		74.625	
		0.01		0.19		0.64		0.79		1.06
40	1288.8		0.1052		0.3941		0.0296		73.842	

Uji Konvergensi Stopper Model Konvensional

Variasi Jarak 400 mm dan Tebal 12 mm

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1289.1		0.1312		0.6171		0.0097		70.935	
		0.04		1.59		1.92		1.76		1.97
90	1288.6		0.1291		0.6053		0.0095		69.537	
		0.07		1.62		1.79		1.69		1.67
80	1287.7		0.1270		0.5944		0.0093		68.376	
		0.01		1.33		1.44		1.57		1.39
70	1287.6		0.1253		0.5860		0.0092		67.439	
		0.03		0.98		1.26		1.21		1.30
60	1287.2		0.1241		0.5787		0.0091		66.573	
		0.05		0.92		0.90		0.93		1.02
50	1286.5		0.1230		0.5735		0.0090		65.901	
		0.02		0.78		0.82		0.55		0.48
40	1286.3		0.1220		0.5689		0.0089		65.586	

Uji Konvergensi Stopper Model Konvensional

Variasi Jarak 400 mm dan Tebal 14 mm

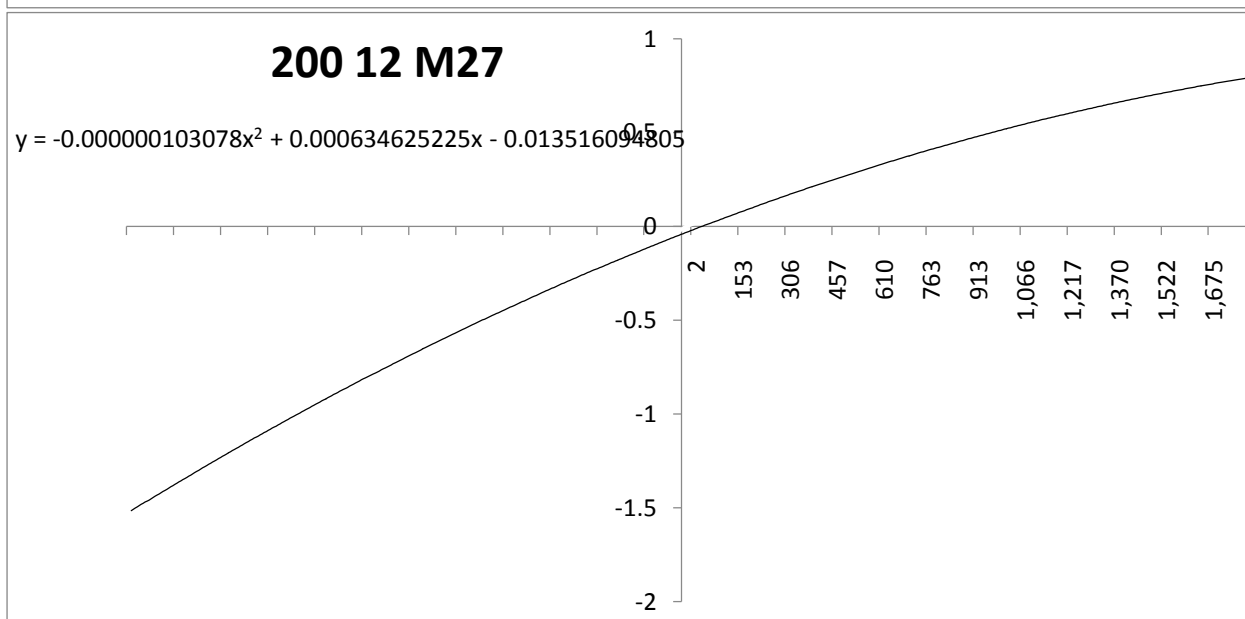
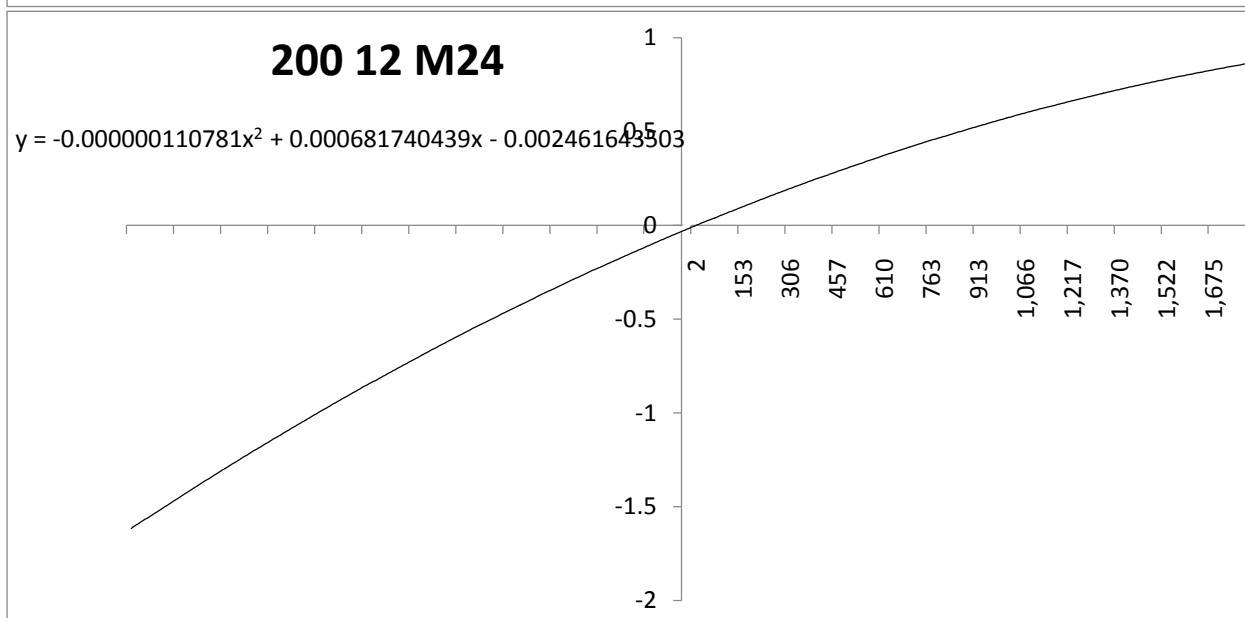
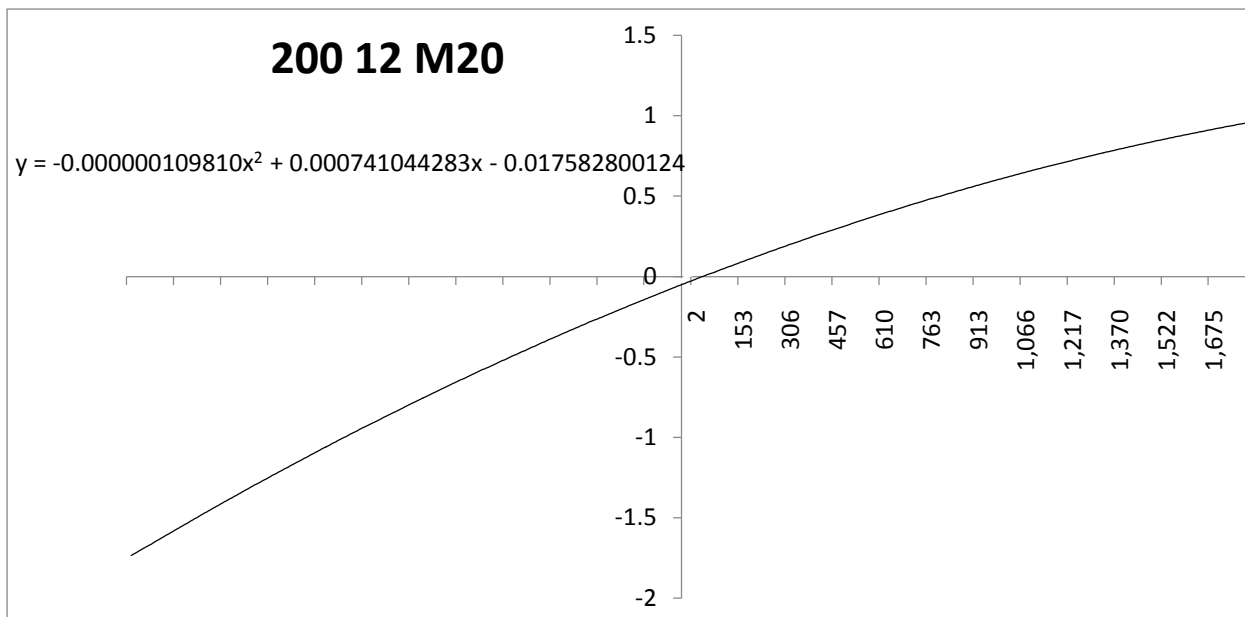
Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1286.3		0.1267		0.5998		0.0316		71.806	
		0.06		1.56		1.91		1.52		1.62
90	1285.5		0.1247		0.5883		0.0311		70.643	
		0.01		1.32		1.87		1.32		1.34
80	1285.4		0.1231		0.5773		0.0307		69.696	
		0.04		1.09		1.49		1.09		1.18
70	1284.9		0.1217		0.5689		0.0304		68.883	
		0.02		0.84		1.13		0.88		0.94
60	1284.6		0.1207		0.5625		0.0301		68.242	
		0.02		0.62		0.92		0.61		0.68
50	1284.4		0.1200		0.5574		0.0299		67.781	
		0.01		0.56		0.74		0.42		0.35
40	1284.2		0.1193		0.5533		0.0298		67.544	

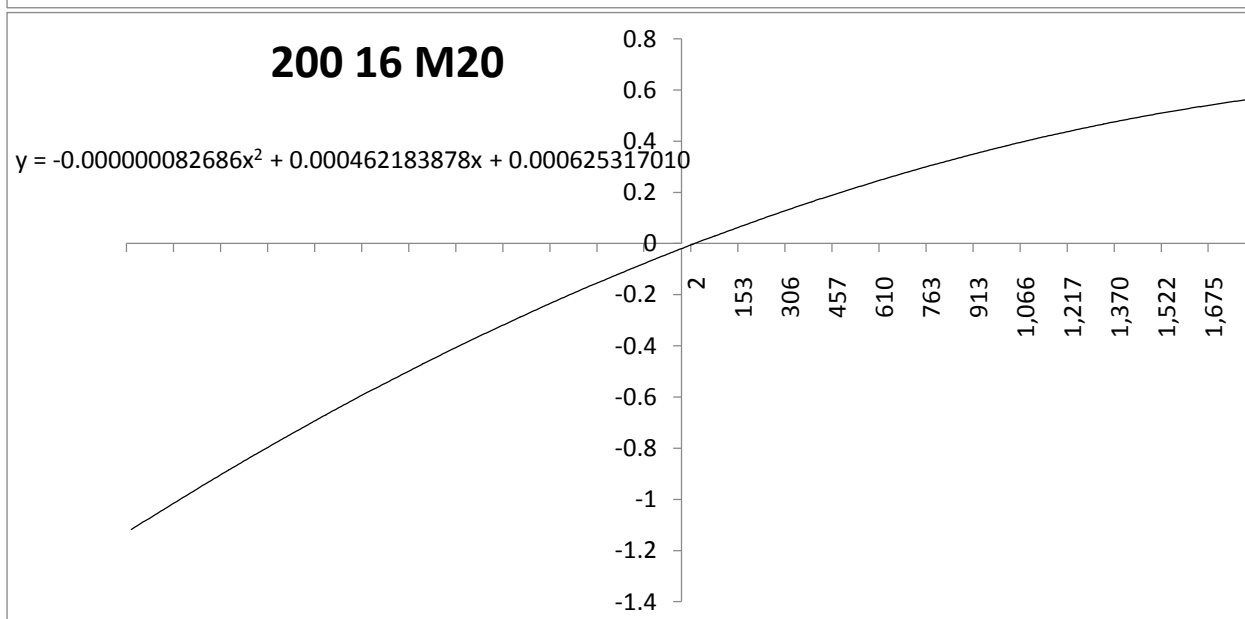
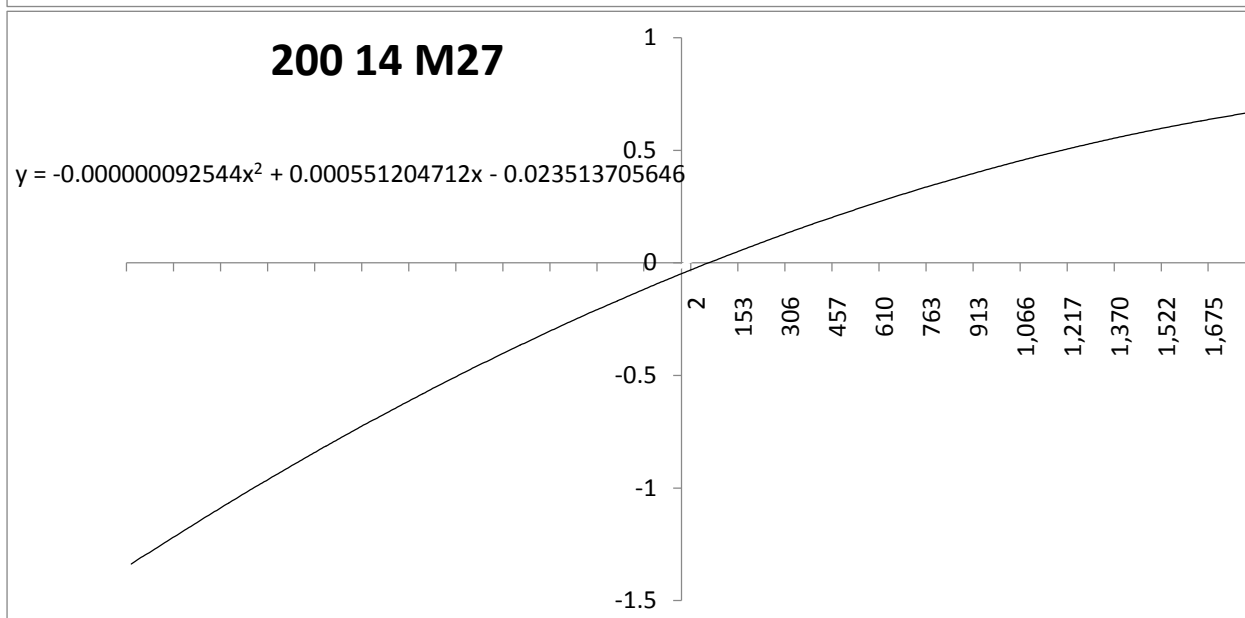
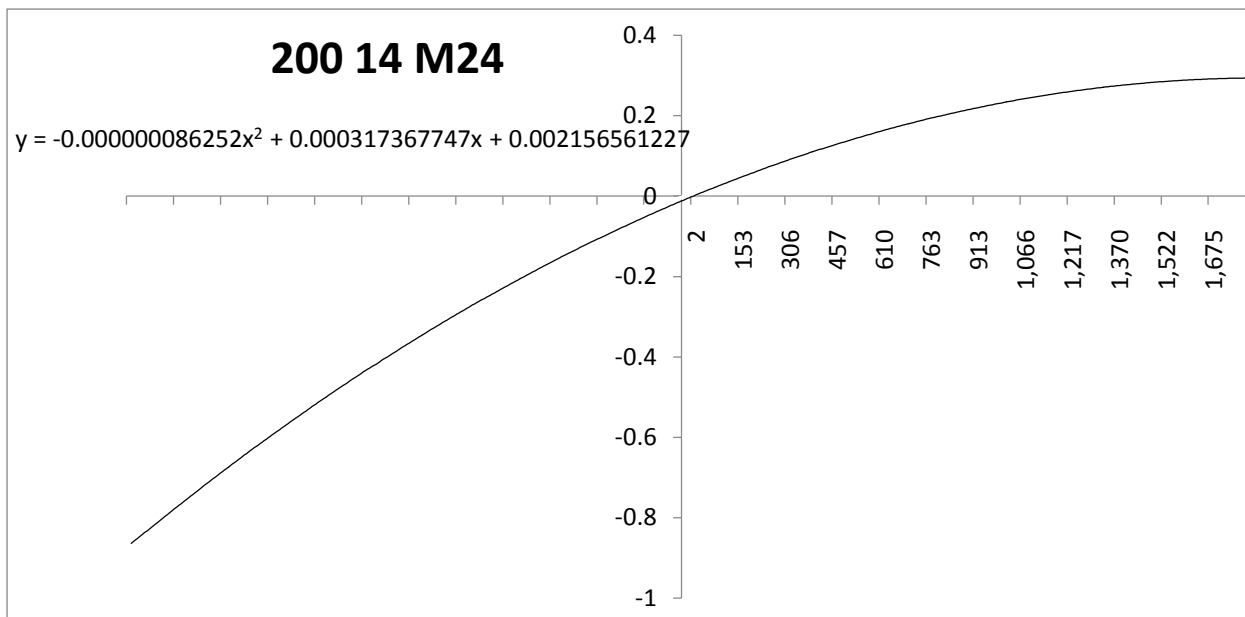
Uji Konvergensi Stopper Model Konvensional

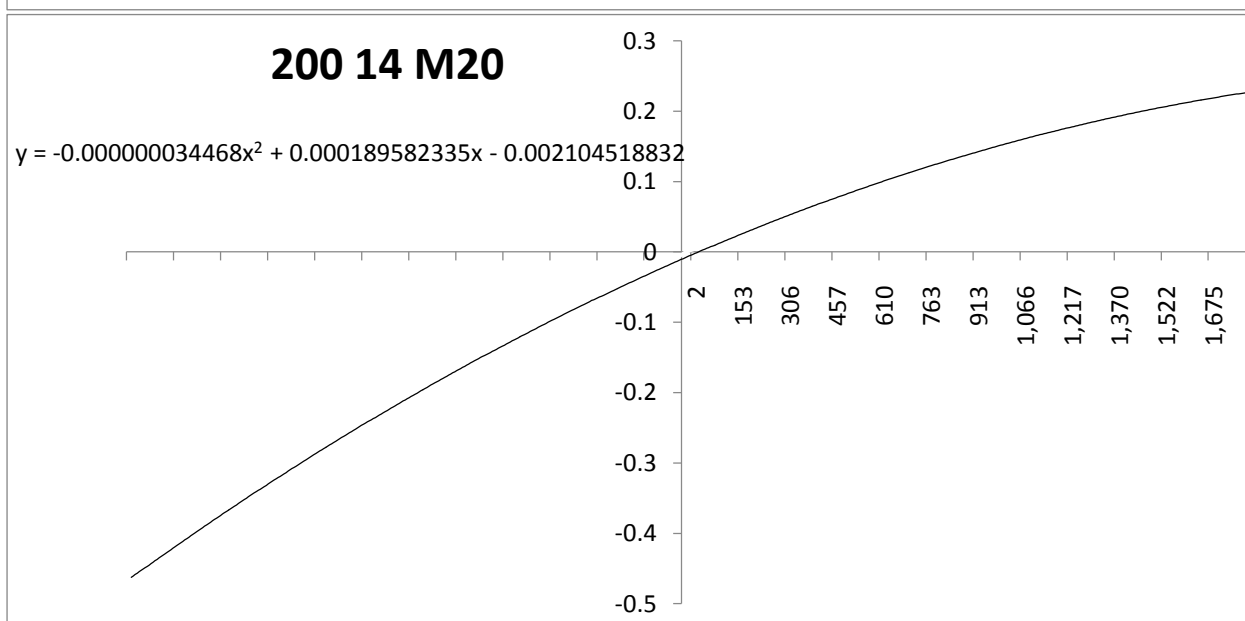
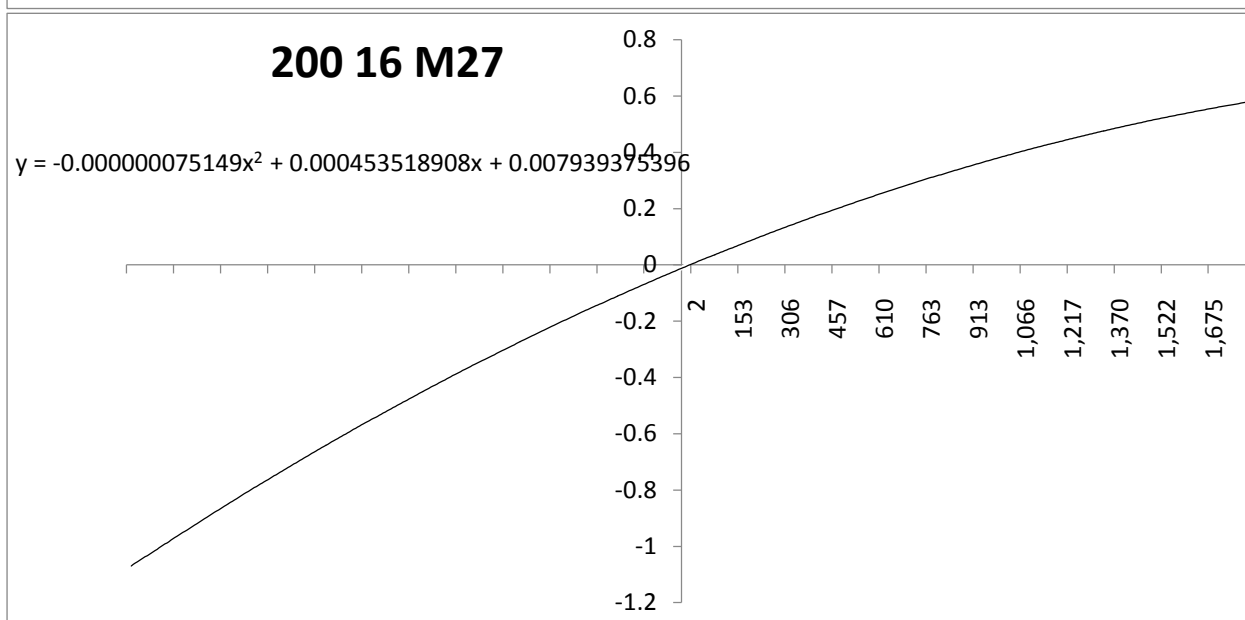
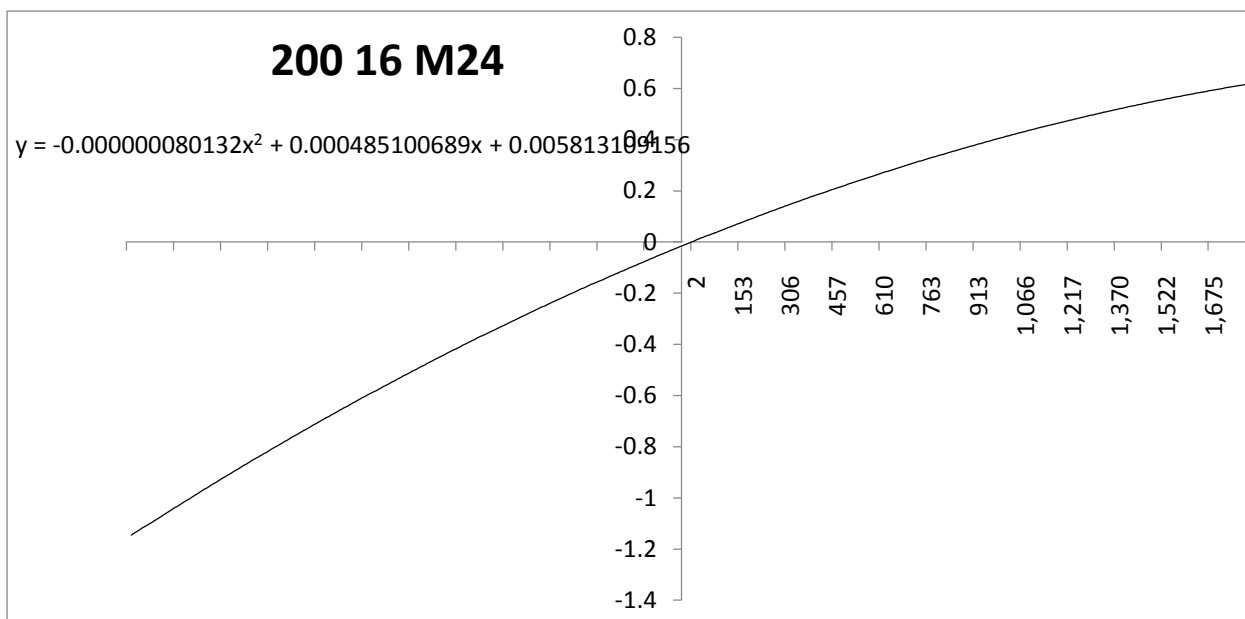
Variasi Jarak 400 mm dan Tebal 16 mm

Meshing	Temp	Temp	Def. Sb X	Def. Sb X	Def. Sb Y	Def. Sb Y	Def. Sb Z	Def. Sb Z	T. Sisa	T. Sisa
(mm)	(⁰ C)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(MPa)	(%)
100	1289.8		0.1209		0.5066		0.0818		77.017	
		0.04		1.76		1.88		1.79		1.90
90	1289.3		0.1187		0.4971		0.0804		75.554	
		0.04		1.41		1.43		1.48		1.44
80	1288.8		0.1171		0.4900		0.0792		74.466	
		0.06		1.24		1.28		1.20		1.27
70	1288.0		0.1156		0.4838		0.0195		70.258	
		0.02		0.97		0.81		0.92		1.05
60	1287.8		0.1145		0.4799		0.0193		69.528	
		0.04		0.89		0.63		0.68		0.87
50	1287.3		0.1135		0.4769		0.0192		68.928	
		0.05		0.66		0.43		0.39		0.58
40	1286.6		0.1128		0.4749		0.0191		68.531	

LAMPIRAN B
GRAFIK KOREKSI DEFORMASI

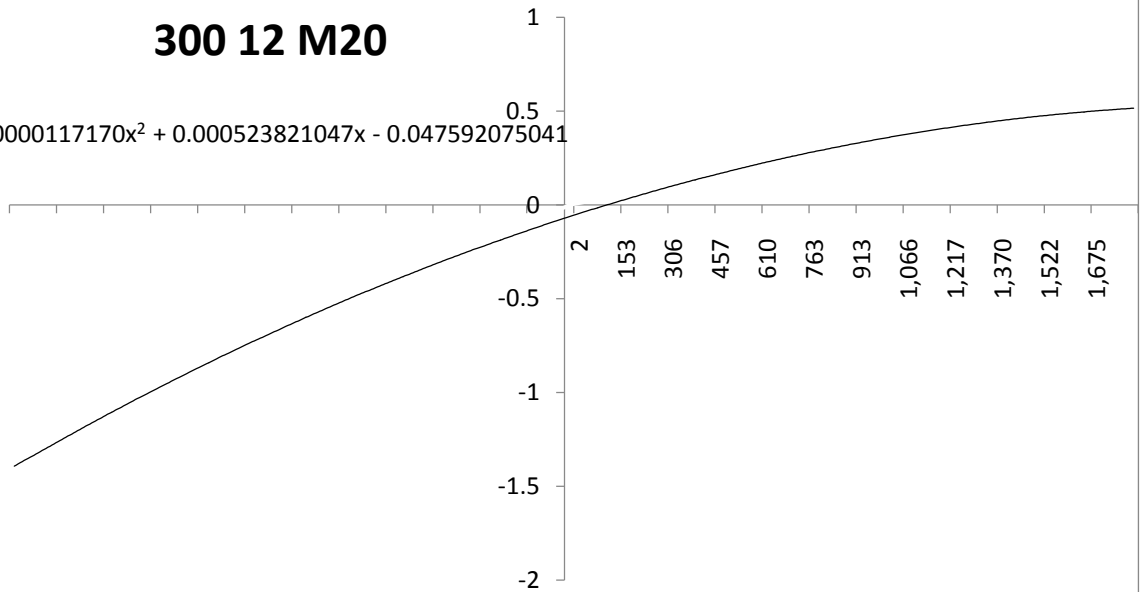






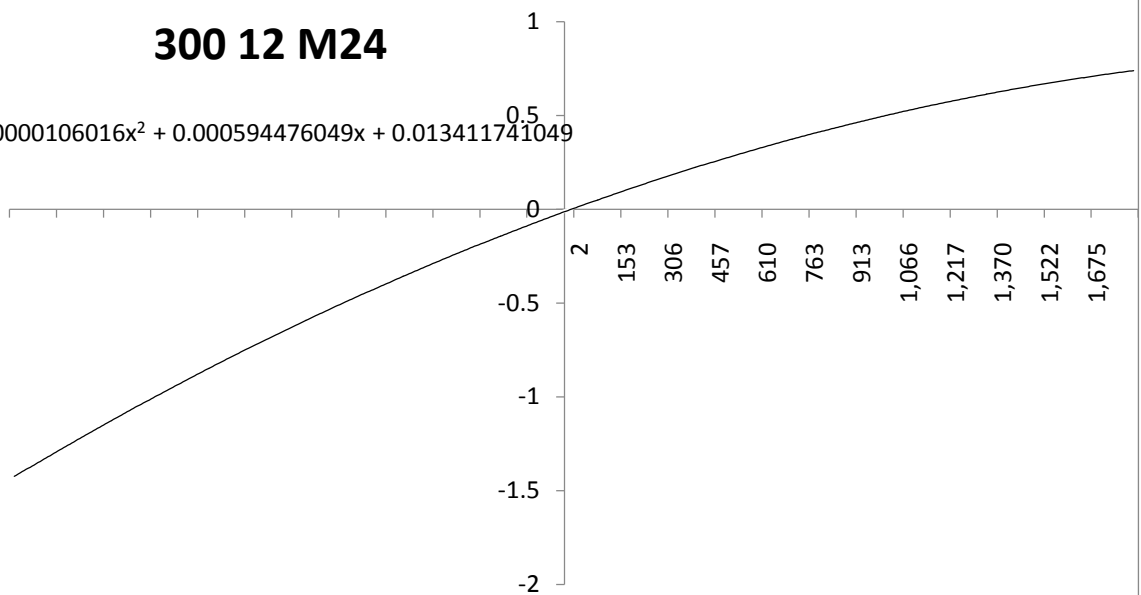
300 12 M20

$$y = -0.000000117170x^2 + 0.000523821047x - 0.047592075041$$



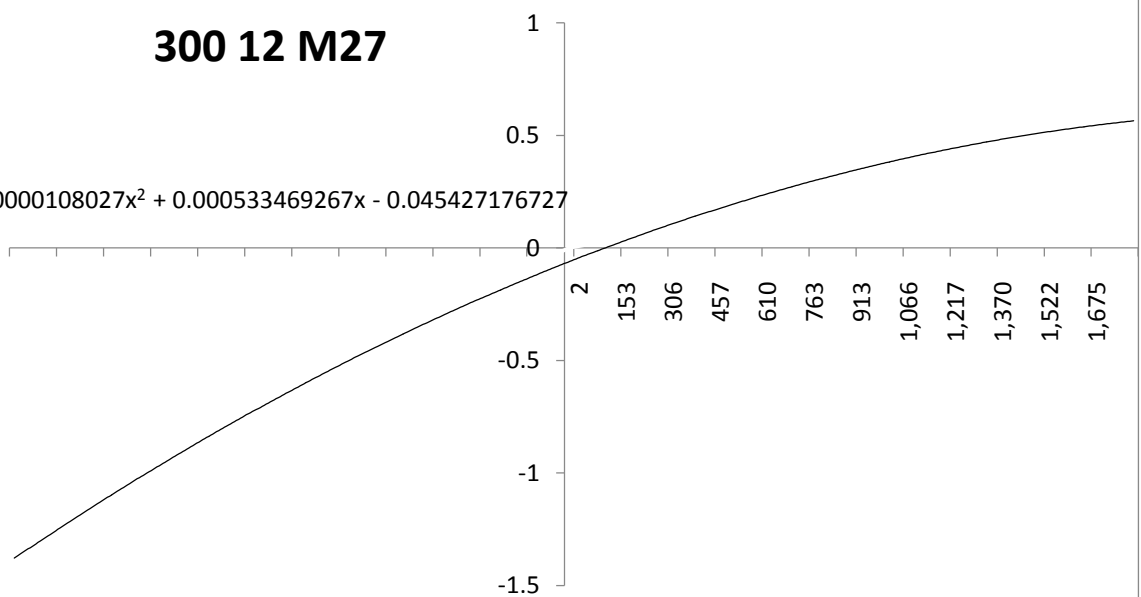
300 12 M24

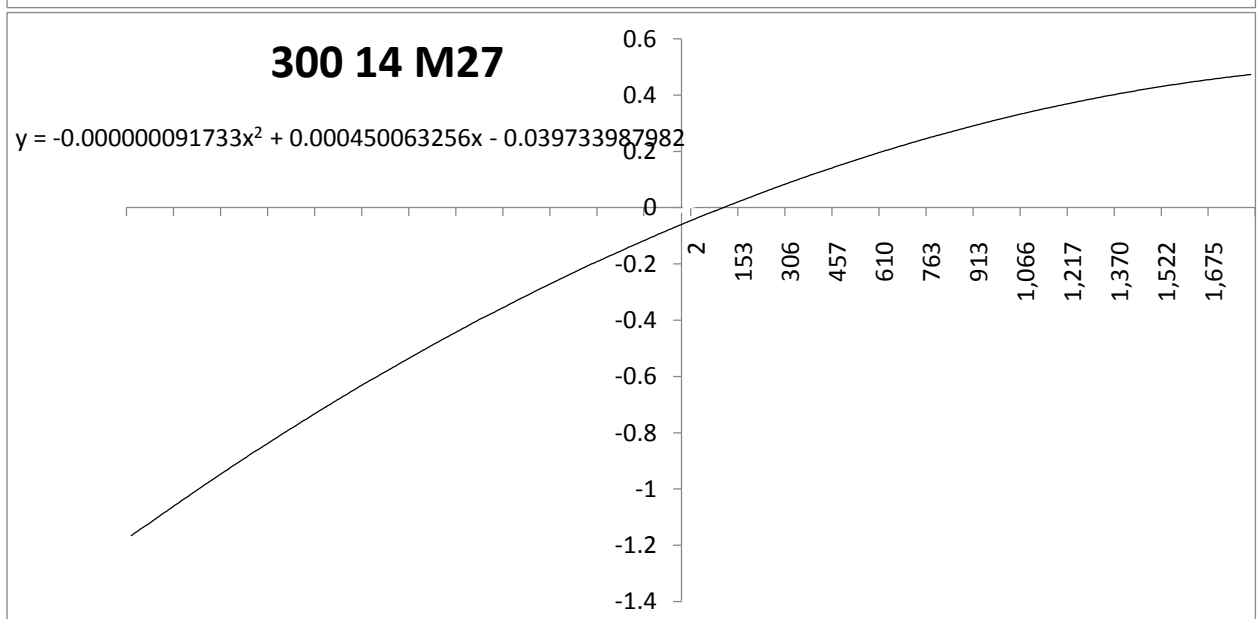
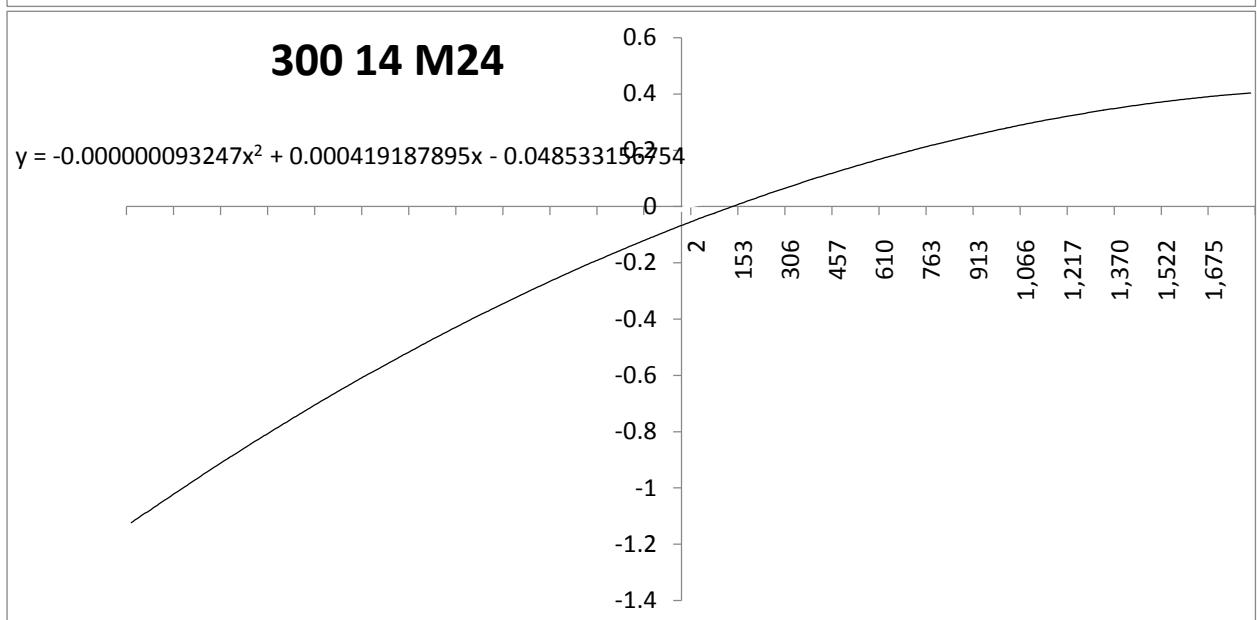
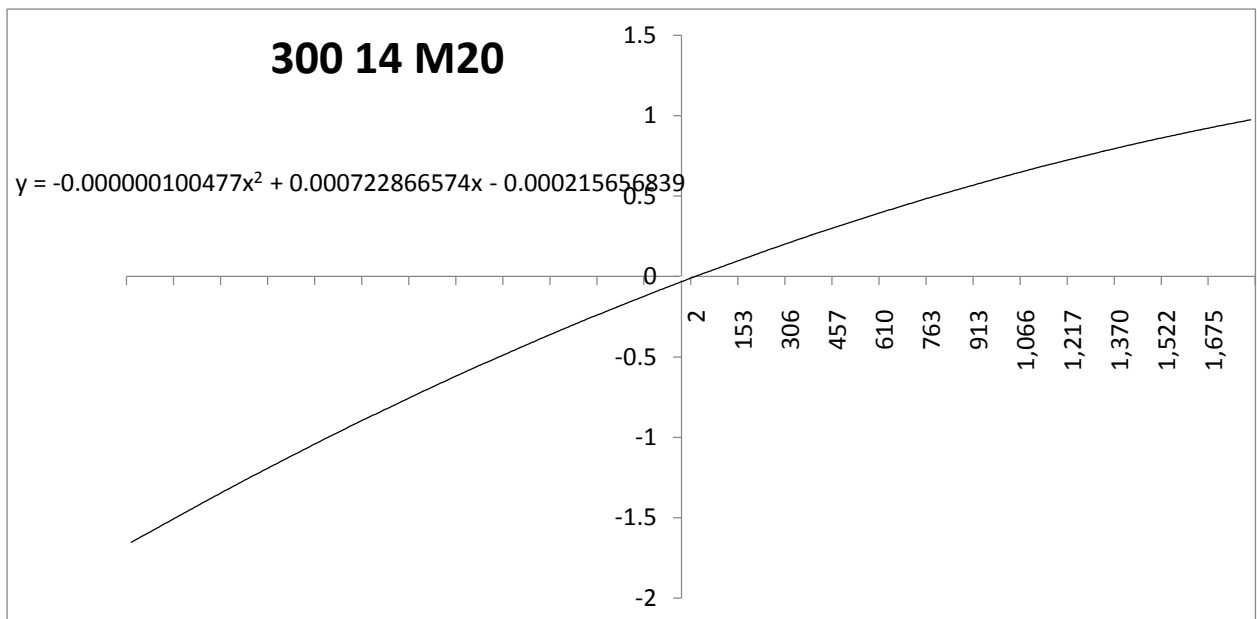
$$y = -0.000000106016x^2 + 0.000594476049x + 0.013411741049$$



300 12 M27

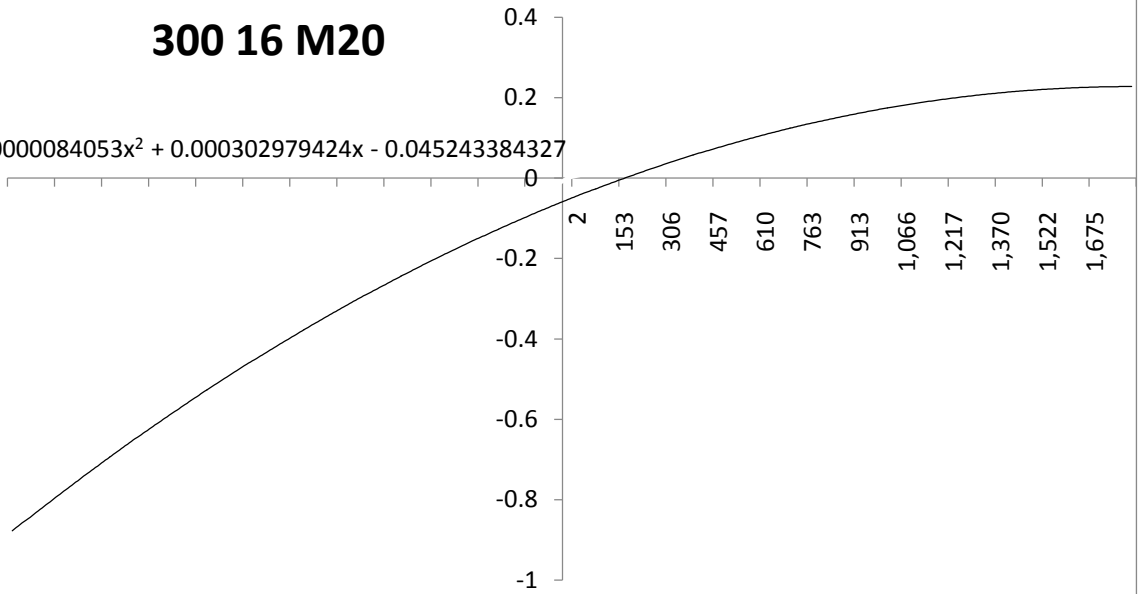
$$y = -0.000000108027x^2 + 0.000533469267x - 0.045427176727$$





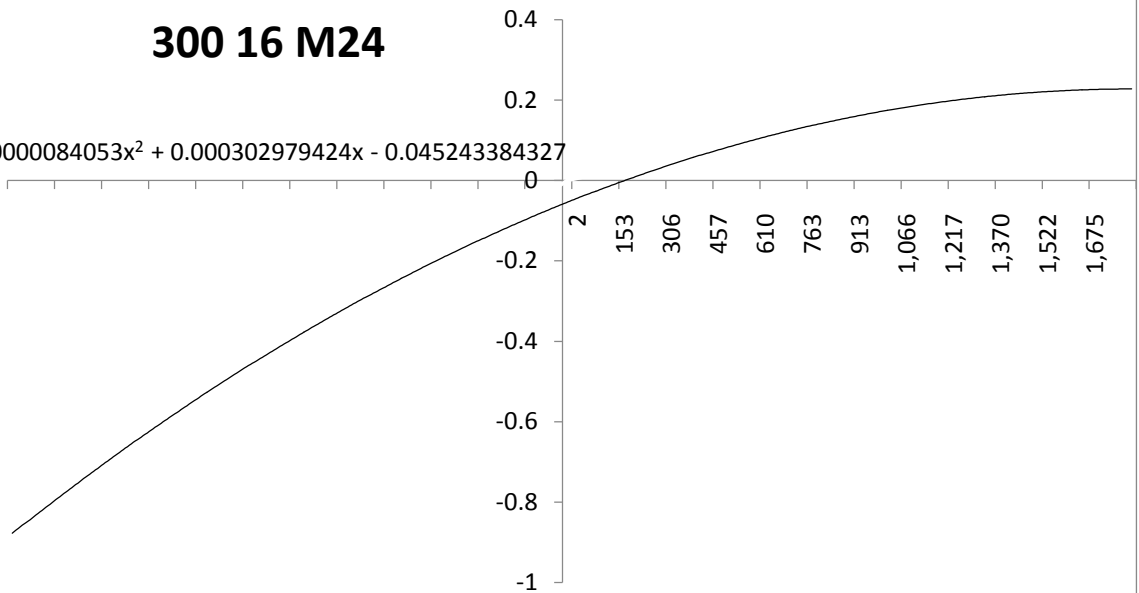
300 16 M20

$$y = -0.000000084053x^2 + 0.000302979424x - 0.045243384327$$



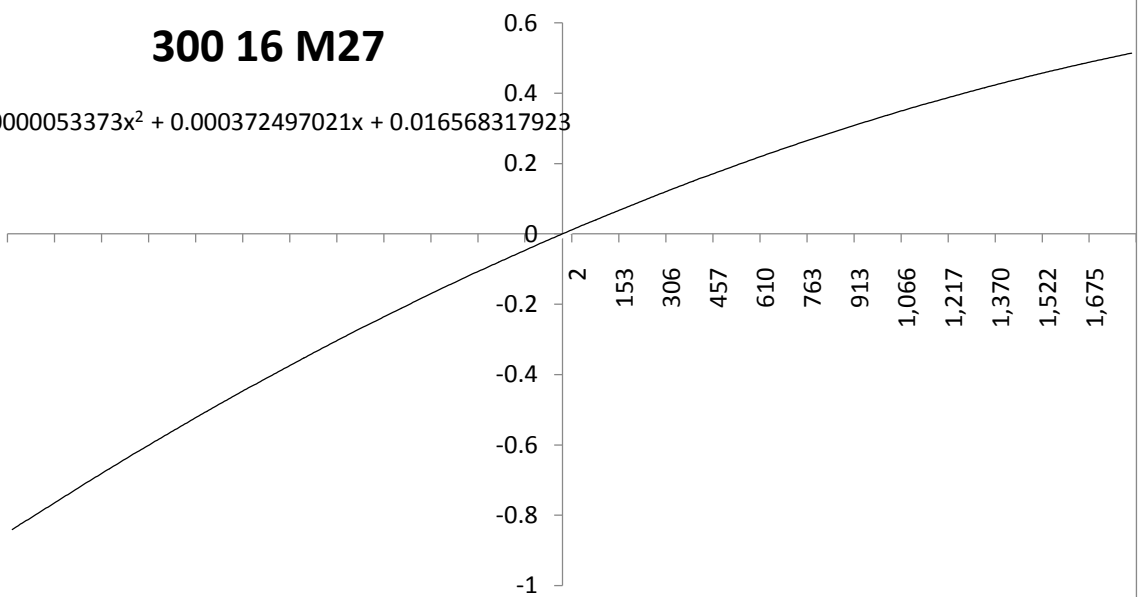
300 16 M24

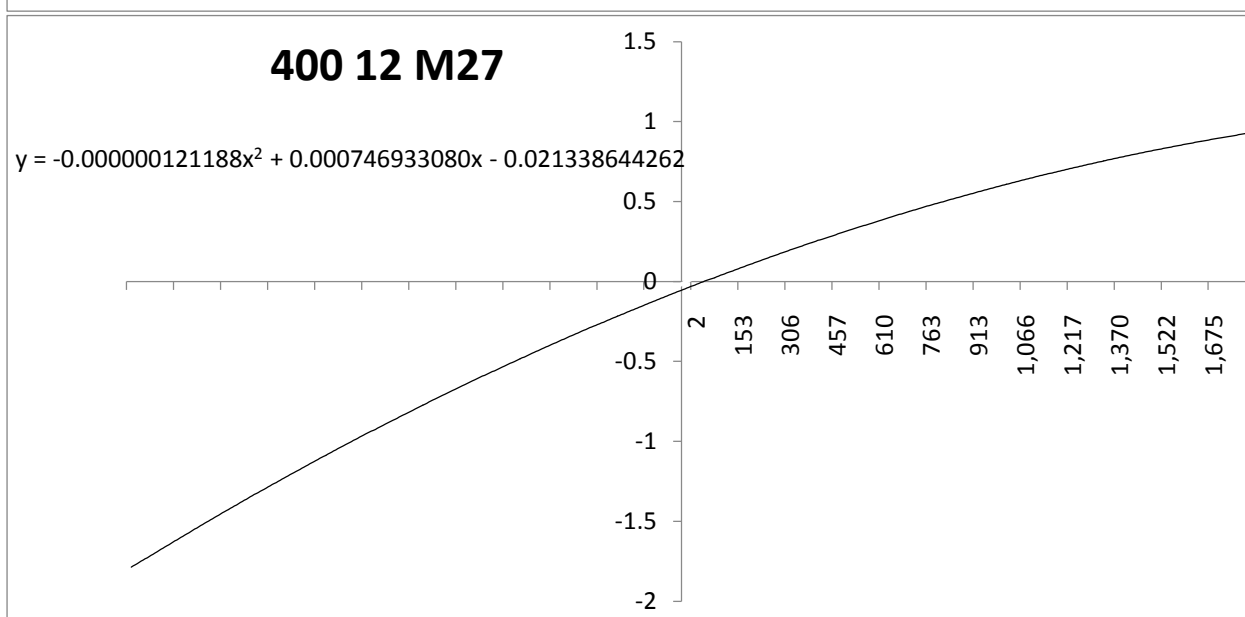
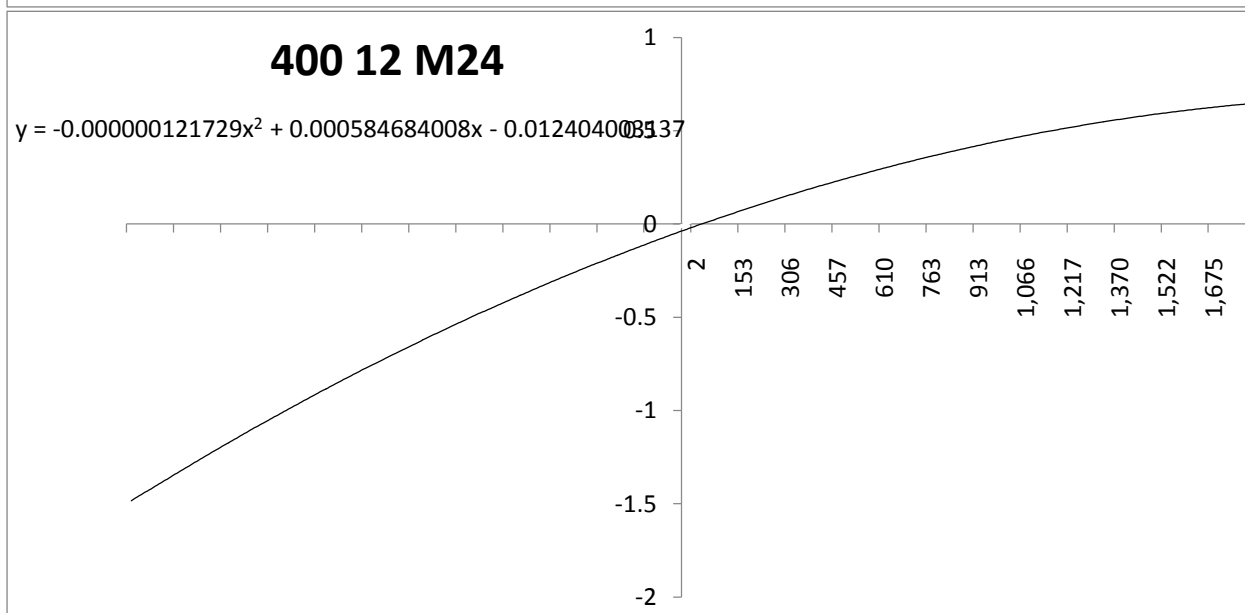
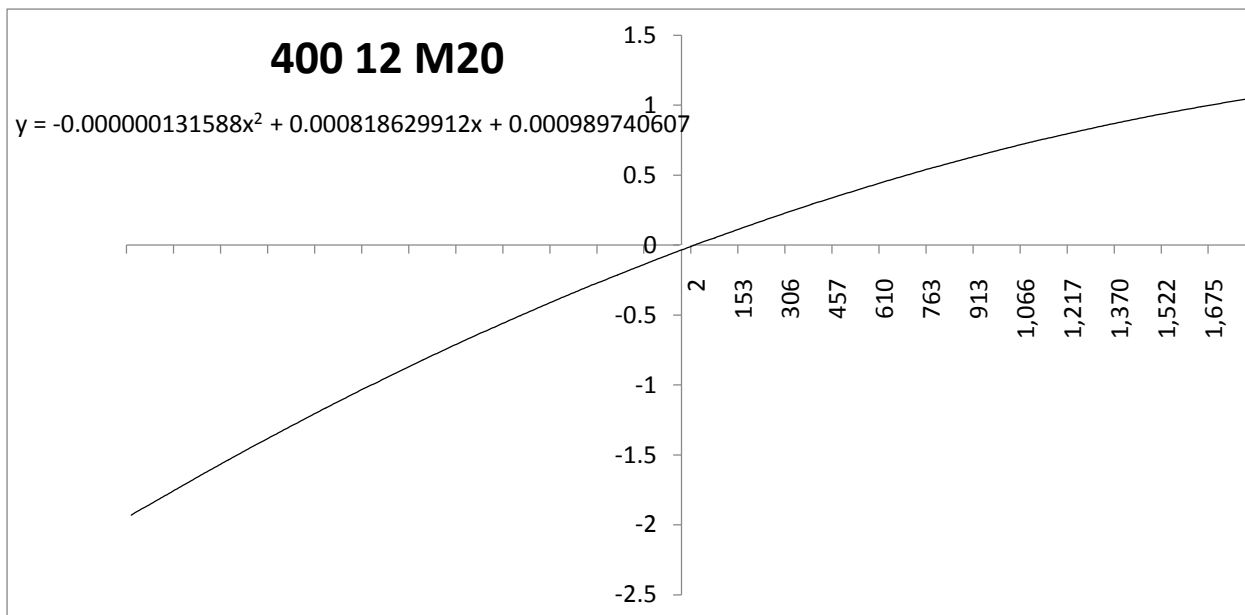
$$y = -0.000000084053x^2 + 0.000302979424x - 0.045243384327$$

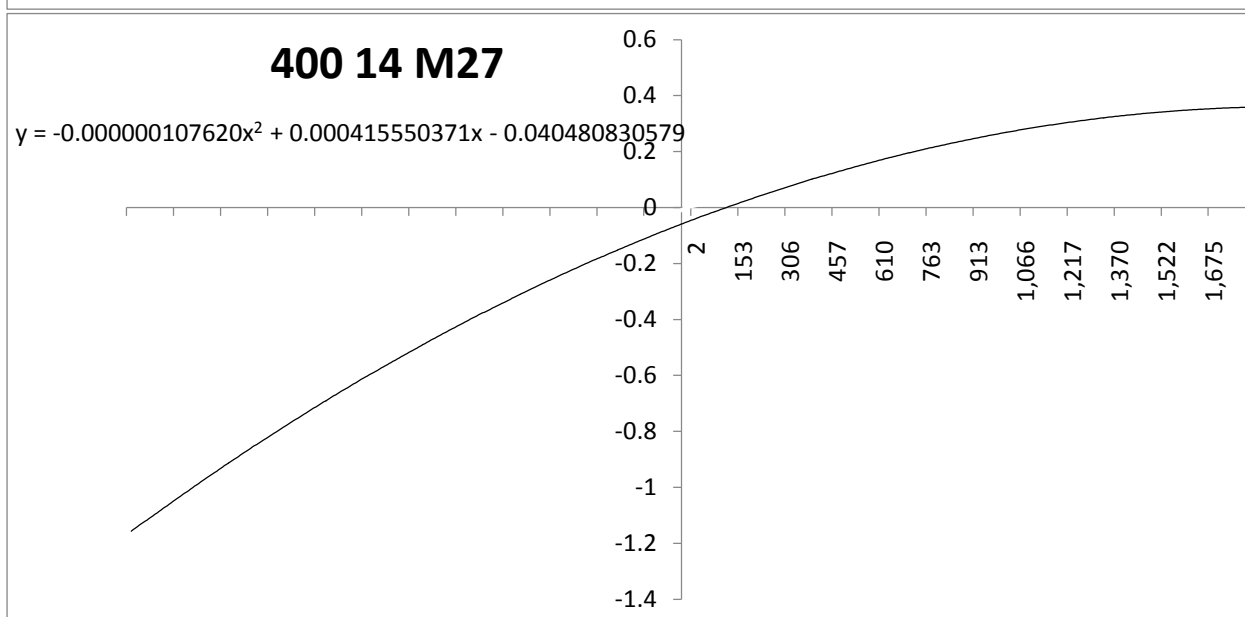
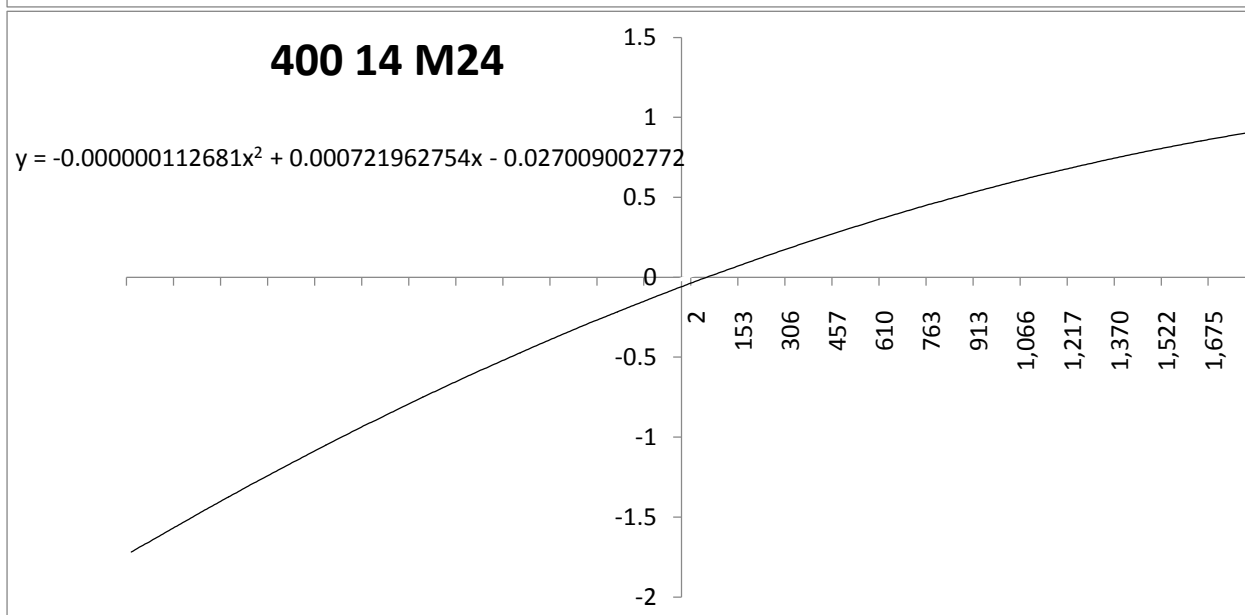
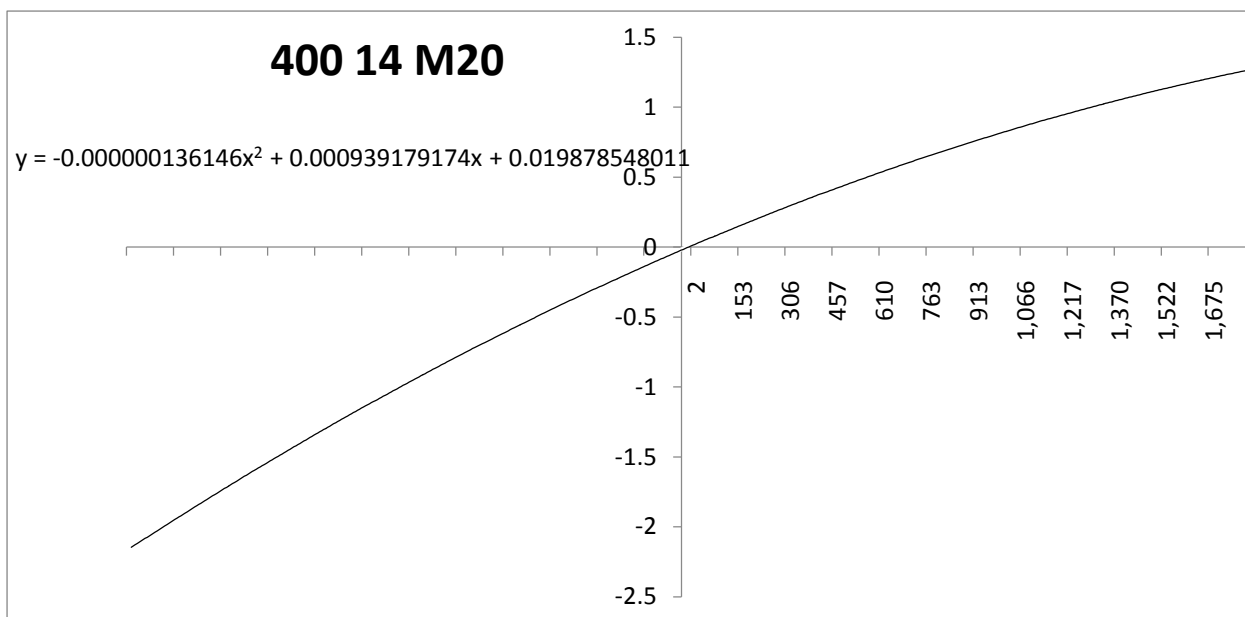


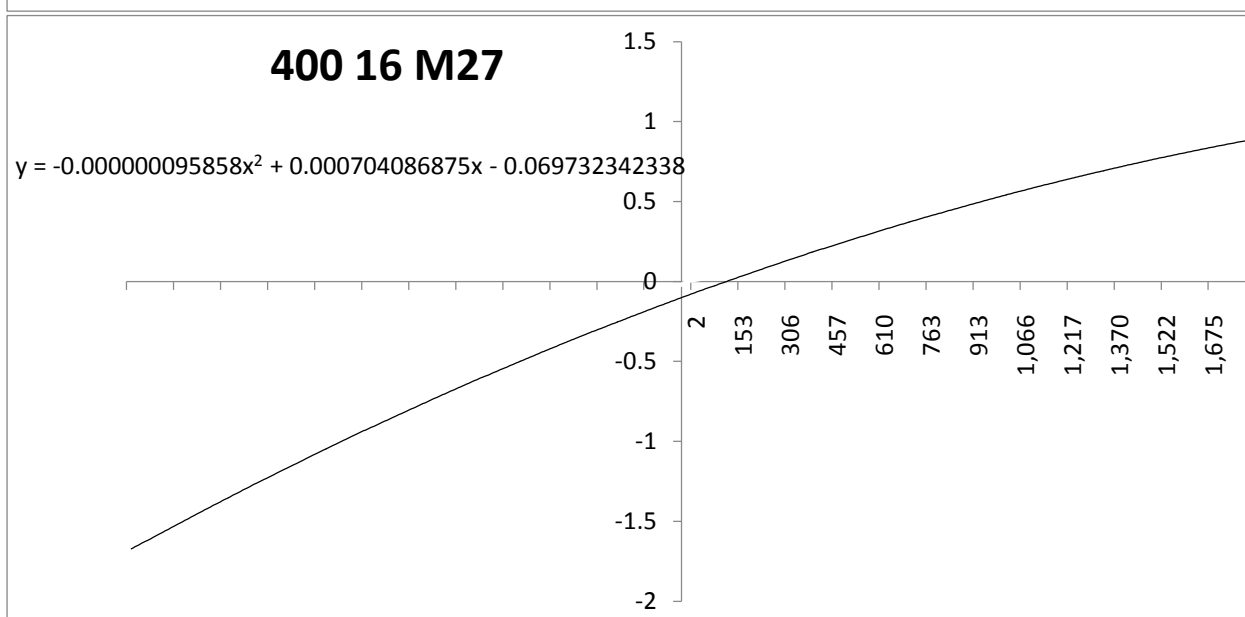
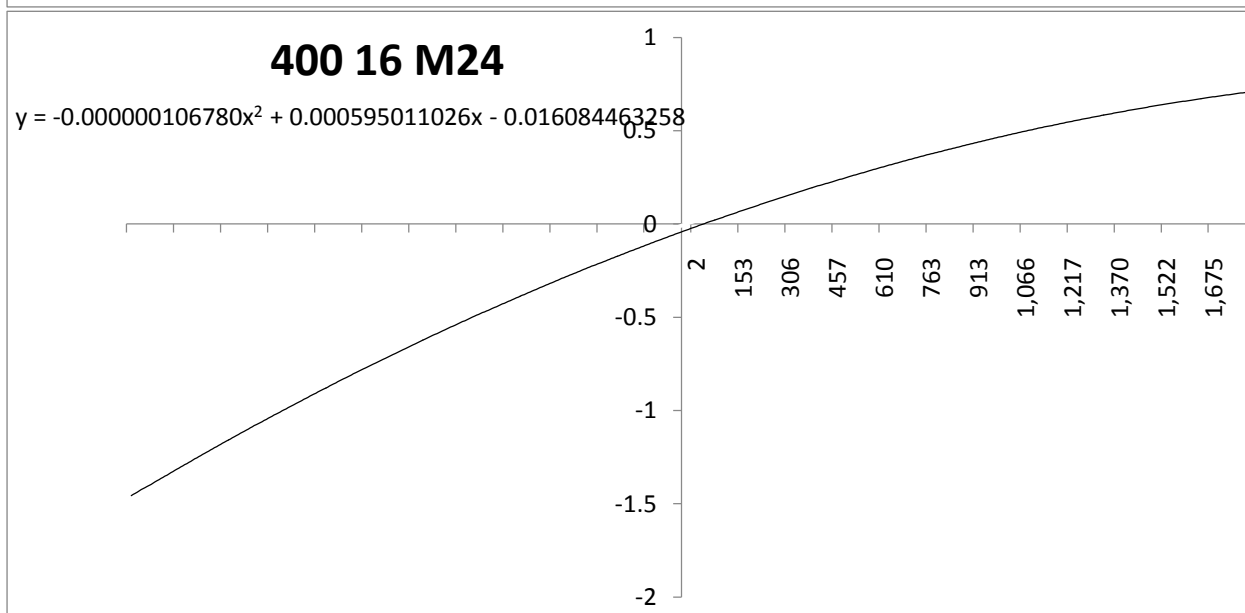
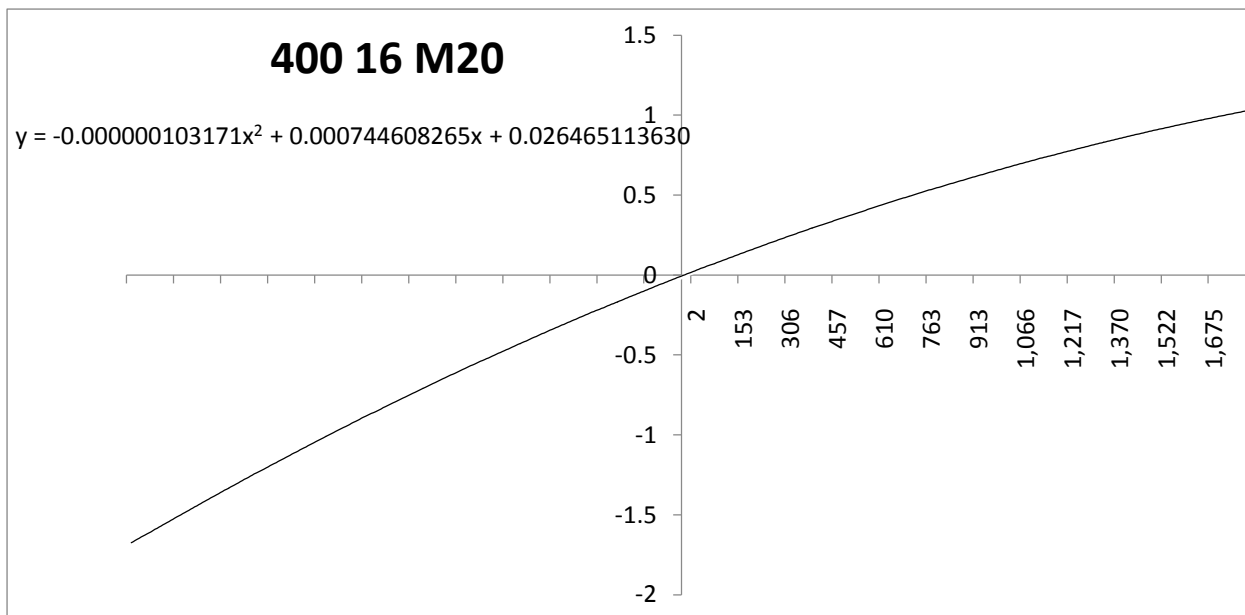
300 16 M27

$$y = -0.000000053373x^2 + 0.000372497021x + 0.016568317923$$









LAMPIRAN C
REKAP HASIL ANALISIS

REKAP HASIL ANALISIS DEFORMASI DAN TEGANGAN SISA							
Stopper Model Baut		Deformasi Maks Arah Sb X (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Y (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Koordinat X pada Z maks (mm)	Koordinat Y pada Z maks (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
Variasi	Ukuran Baut						
Jarak 200 mm Tebal 12 mm	M 20	0.0818	0.1207	0.3557	1336	61.87	79.366
	M 24	0.0797	0.1292	0.3482	1987	42.84	79.260
	M 27	0.0775	0.1183	0.3146	3952	76.68	75.444
Jarak 200 mm Tebal 14 mm	M 20	0.0860	0.1191	0.2996	3732	34.13	79.824
	M 24	0.0821	0.0948	0.2669	3583	21.88	79.298
	M 27	0.0831	0.1291	0.2950	4740	0.87	78.918
Jarak 200 mm Tebal 16 mm	M 20	0.0712	0.1237	0.2644	982	9.57	80.648
	M 24	0.0698	0.1278	0.2634	4013	51.19	81.218
	M 27	0.0694	0.1314	0.2447	3691	63.57	79.344
Jarak 300 mm Tebal 12 mm	M 20	0.1075	0.0857	0.3575	836	75.98	76.994
	M 24	0.1066	0.0935	0.3599	1966	36.19	77.022
	M 27	0.1012	0.0914	0.3415	1758	38.10	73.536
Jarak 300 mm Tebal 14 mm	M 20	0.1020	0.0878	0.3083	5280	60.61	79.656
	M 24	0.1010	0.0948	0.3155	4086	82.71	78.946
	M 27	0.0994	0.0963	0.2973	1633	35.97	76.836
Jarak 300 mm Tebal 16 mm	M 20	0.0986	0.0960	0.2741	2485	32.22	79.970
	M 24	0.0966	0.9160	0.2736	4856	13.34	79.594
	M 27	0.0945	0.0965	0.2448	2745	94.18	78.386
Jarak 400 mm Tebal 12 mm	M 20	0.1257	0.0780	0.4472	5318	64.49	72.282
	M 24	0.1239	0.0679	0.3971	1739	47.02	71.310
	M 27	0.1207	0.0719	0.3812	1607	47.98	72.356
Jarak 400 mm Tebal 14 mm	M 20	0.1219	0.0845	0.4169	1874	56.95	72.416
	M 24	0.1072	0.0885	0.3474	782	40.74	72.864
	M 27	0.1148	0.0773	0.3446	2904	14.62	72.384
Jarak 400 mm Tebal 16 mm	M 20	0.1150	0.0925	0.3778	1150	101.00	73.238
	M 24	0.1124	0.0825	0.3380	1124	34.48	73.764
	M 27	0.1109	0.0792	0.2889	5109	28.06	74.466
Stopper Konvensional		Deformasi Maks Arah Sb X (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Y (mm)	Deformasi Maks Arah Sb Z (mm)	Koordinat X pada Z maks (mm)	Koordinat Y pada Z maks (mm)	Tegangan Sisa (MPa)
Variasi	Tebal (mm)						
Jarak 200 mm	12	0.1042	0.0385	0.2711	4042	-0.04	75.250
	14	0.1012	0.0409	0.2474	3012	1.04	78.702
	16	0.0966	0.0441	0.1975	5166	-0.85	79.642
Jarak 300 mm	12	0.1159	0.0201	0.3348	1959	1.02	73.642
	14	0.1123	0.0322	0.3059	923	-0.22	74.122
	16	0.1074	0.0308	0.2766	1174	0.38	77.504
Jarak 400 mm	12	0.1270	0.0093	0.4006	2670	0.93	68.376
	14	0.1231	0.0307	0.3891	3431	-1.37	69.696
	16	0.1171	0.0195	0.3303	671	-1.19	70.258

BIODATA PENULIS



Anggit Akbar Anggoro, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Sragen pada 11 Oktober 1994 silam, yang merupakan anak kedua dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar di TK PTPN IV Kerjo Arum Sragen, kemudian melanjutkan pendidikan di SDN 5 Sragen, SMPN 5 Sragen dan SMAN Sragen Bilingual Boarding School. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa studi di ITS, Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Syiar LDJ Teknik Perkapalan As-Safiinah 2014/2015, *staff* Divisi ILC Syiar LDK JMMI ITS 2014/2015, *staff* Departemen Syiar LDF FTK Al-Bahri 2015/2016, Sekretaris LDJ Teknik Perkapalan As-Safiinah 2015/2016 serta Kepala Divisi IC Syiar LDK JMMI ITS 2015/2016.

Penulis tercatat pernah melakukan kerja praktek pertama untuk menangani masalah reparasi kapal di PT. Dok Pantai Lamongan pada tahun 2015 dan kerja praktek kedua untuk menangani masalah inspeksi dan pembangunan kapal baru di Lloyd's Register Surabaya pada tahun 2016.

Email: anggit13@mhs.na.its.ac.id atau anggitakbar@gmail.com